

# CNC-OHJATTAVA RULLAMUOVAUSKONE

Tomi Martikainen

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2013

Paperikoneteknologian koulutusohjelma  
Tekniikan ja liikenteen ala



JYVÄSKYLÄN AMMATTIKORKEAKOULU  
JAMK UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



Tekijä(t) MARTIKAINEN, Tomi	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 26.5.2013
	Sivumäärä 51 + 12	Julkaisun kieli suomi
	Luottamuksellisuus ( x ) 1.1.2018 saakka	Verkkojulkaisulupa myönnetty ( )
Työn nimi CNC-OHJATTU RULLAMUOVAUSKONE		
Koulutusohjelma Paperikoneteknologia		
Työn ohjaaja(t) SÄLLINEN, Pekka, lehtori		
Toimeksiantaja(t) Moviator Oy, Vaajakoski HÄNNINEN, PERTTI, yrityksen perustaja		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön aiheena oli CNC–ohjattavan rullamuovauskoneen osittainen mekaniikasuunnittelu, 3D–mallintaminen sekä mallinnettujen osien puhtaaksi piirtäminen. Rullamuovaus koneella tullaan valmistamaan paineastioiden päätyjä. Opinnäytetyö suoritettiin Vaajakoskella sijaitsevalle Moviator Oy:lle. Työn toteutumisesta olivat ohjaamassa yrityksen perustaja Pertti Hänninen, sekä hänen poikansa Olli Hänninen. Opinnäytetyön aihe lähti liikkeelle heidän ideoinneista, sekä halusta kehittää uutta menetelmää paineastioiden päätyjen valmistamiseen.</p> <p>Työn toteutuksessa perehdyttiin muun muassa painelaitedirektiiviin 97/23/EY sekä SFS:n eri standardeihin, jotka vaikuttavat rullamuovauskoneen mekaaniseen suunnitteluun. Suunnitellulla rullamuovauskoneella tullaan valmistamaan paineastioiden päätyjä, joten myös päätyjen valmistamiseen vaikuttaviin toimenpiteisiin oli perehdyttävä opinnäytetyötä tehdessä.</p> <p>Suunniteltu rullamuovauskone on hyvin massiivinen, koska koneella tulee pystyä valmistamaan halkaisijaltaan 3000 mm kokoisia paineastian päätyjä. Suunnitellulla rullamuovauskoneella pystytään valmistamaan paineastian pääty alusta loppuun ilman, että muovattava pääty joudutaan irrottamaan työstön aikana. Päädyn taivuttaminen perustuu rullamuovaus menetelmään, jossa muovausrullien halutunlaisilla liikkeillä mahdollistetaan standardimuotoisten päätyjen valmistaminen.</p> <p>Työlle asetetut tavoitteet saavutettiin. Rullamuovauskoneesta on nyt olemassa kokoonpanopiirustukset ja työpiirustukset. Opinnäytetyön mallinnukset ja piirustukset on tehty CatiaV15 ohjelmalla. Suunniteltuun koneeseen on vielä suunniteltava sähkötyöt sekä CNC-ohjauspuoli. Nämä osa-alueet eivät kuuluneet opinnäytetyöhön.</p>		
Avainsanat (asiasanat) tuotekehitys, rullamuovaus, mekaniikkasuunnittelu		
Muut tiedot		



Author(s) MARTIKAINEN, Tomi	Type of publication Bachelor's thesis	Date 26.5.2013
	Pages 51 + 12	Language Finnish
	Confidential ( x ) Until 1.1.2018	Permission for web publication ( )
Title CNC-controlled roll forming machine		
Degree Programme Paper Machine Technology		
Tutor(s) SÄLLINEN, Pekka, lecture		
Assigned by Moviator Oy, Vaajakoski HÄNNINEN, Pertti, founder of the company		
<p>Abstract</p> <p>The aim of this thesis was carrying out partial mechanical designing of a CNC-controlled roll forming machine, 3D-modeling and making workshop drawings from the modeled parts. The roll forming machine will be used for manufacturing the heads of the pressure vessels. The thesis was made for the company called Moviator which is located in Vaajakoski. The project was supervised by the company's founder Pertti Hänninen and his son Olli Hänninen. The topic of the thesis originated from their ideas and willingness to develop a new method for the manufacture of pressure vessel heads.</p> <p>The thesis work started by familiarizing with the pressure equipment directive 97/23/EY and different SFS standards which affect mechanical designing of a roll forming machine. The designed roll forming machine will be used for the manufacture of the ends of pressure vessels so the measures which affect manufacturing had to be taken into consideration.</p> <p>The roll forming machine is massive because the machine has to be able to manufacture a pressure vessel head with the diameter of 3000 mm. The designed machine can produce a pressure vessel head from the beginning to the end without removing the head during machining. Bending of the head is based on the roll forming method where the movements of the forming rolls are controlled. This makes possible to manufacture the standard shaped pressure vessel ends.</p> <p>The goals of the thesis were achieved. There are now assembly drawings and workshop drawings available. Modeling and drawings were made by CatiaV15 software. For the machine electrical design and also a CNC control program have still to be made. These areas were not included in this thesis work.</p>		
Keywords product development, roll forming, mechanical design		
Miscellaneous		

# SISÄLTÖ

1	JOHDANTO.....	4
1.1	Työn tarkoitus.....	4
1.2	Moviator oy .....	5
2	TUOTEKEHITYS.....	6
2.1	Tuotekehityksen vaiheet .....	6
2.1.1	Käynnistäminen .....	6
2.1.2	Luonnostelu .....	8
2.1.3	Kehittäminen .....	13
2.1.4	Viimeistely .....	13
2.2	Ergonomia ja työturvallisuus .....	15
2.3	Patentti ja mallisuojaus .....	17
3	PAINELAITEDIREKTIIVIT JA STANDARDIT .....	18
3.1	Painelaitteet .....	18
3.2	Painelaitteissa käytettävät materiaalit.....	19
3.3	Painelaitteiden suunnittelu .....	21
3.3.1	Säiliön päädyn mitoitus, joihin vaikuttaa sisäinen paine .....	21
3.4	Painelaitteiden valmistus .....	23
3.4.1	Paineenalaisten osien muovaus.....	23
4	RULLAMUOVAUS.....	25
4.1	Metallinmuovaus yleistä.....	25
4.2	Rullamuovaus yleistä .....	27
4.3	Muokkauslujittuminen .....	28
4.4	Takaisinjousto .....	29
5	MATERIAALI.....	30
5.1	Rullien materiaalit .....	30
5.2	Muovattavat materiaalit.....	30
6	KORROOSIO .....	31
6.1	Korroosion perusteet.....	31
6.2	Yleinen korroosio .....	33
6.3	Pistekorroosio.....	33
6.4	Rakokorroosio.....	35
6.5	Korroosion ennaltaehkäisy .....	36
7	TYÖN TULOKSET .....	37
7.1	Työn tavoitteet ja rajausta.....	37
7.2	Työn toteutus .....	38
7.3	Tulokset .....	41
7.3.1	Koneen toimintaperiaate .....	41
7.3.2	Rullamuovauskoneen lopullinen versio .....	42
8	JATKOTOIMENPITEET .....	44
9	POHDINTA .....	45

LÄHTEET.....	47
LIITTEET .....	50
Liite 1. Painelaiteterästen luokittelujärjestelmä .....	50
Liite 2. Hännisten PowerPoint esitys.....	52
Liite 3. Vaatimuslista koneelle.....	53
Liite 4. Kuvia koneesta.....	54

## KUVIOT

KUVIO 1. Tuotekehitysprojektin aloittamisen edellytykset .....	6
KUVIO 2. Luonnostelun työvaiheet .....	9
KUVIO 3. Casimirin menetelmä ratkaisuvaihtoehtojen arvioimiseksi .....	11
KUVIO 4. Viimeistelyn työvaiheet .....	14
KUVIO 5. Kupera pääty .....	21
KUVIO 6. Klöpperform pääty .....	22
KUVIO 7. Korbibogen pääty .....	22
KUVIO 8. Suora pääty .....	22
KUVIO 9. Kuperien, ympyränmuotoisten kappaleiden muovaus .....	24
KUVIO 10. Lieriöiden ja kartioiden muovaus .....	25
KUVIO 11. Metallin kylmämuovaus .....	26
KUVIO 12. Rullamuovaustekniikalla suoritettavaa reunantaivutusta .....	27
KUVIO 13. Jännitys-venymä-piirros .....	28
KUVIO 14. Dislokaation liike .....	29
KUVIO 15. Sähkökemiallinen korroosio .....	32
KUVIO 16. Korroosion vaikutus metalliin .....	33
KUVIO 17. Pistekorroosion syövyttämiä onkaloita .....	34
KUVIO 18. Pistekorroosion esiintyminen .....	35
KUVIO 19. Rakokorroosion esiintymispaikka putken ja seinämä välissä .....	36
KUVIO 20. Rullamuovauskoneen karkea luonnostelu .....	39
KUVIO 24. Rullamuovauskone päämittojen kanssa ilman suojaseiniä .....	42
KUVIO 25. Rullamuovauskone kuvattuna takaviistosta suojaseinien kanssa .....	43

## TAULUKOT

TAULUKKO 1. Esimerkki vaatimuslistasta .....	10
TAULUKKO 2. Hiili-, fosfori- ja rikki-pitoisuuksien enimmäisarvot .....	20

TAULUKKO 3. Standardin EN 10204 mukainen ainestodistus .....	20
--	----

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Työn tarkoitus

Tämä opinnäytetyö on tehty Moviator Oy:lle. Tässä opinnäytetyössä käsitellään tuotekehitysprosessin avulla suunniteltavaa CNC-ohjattua rullamuovauskonetta. Yrityksen perustaja Pertti Hänninen lähti ideoimaan uudenlaista konetta, jolla paineastian päädyt voitaisiin valmistaa yhdellä koneella, alusta loppuun saakka. Hänninen lähti ideoimaan rullamuovausmenetelmällä toimivaa CNC - ohjattua konetta, jolla päädyt saataisiin valmistettua.

Työn tavoitteena oli paineastianpäätyjen valmistukseen käytettävän rullamuovausmenetelmällä toimivan CNC-ohjatun koneen osittainen mekaaninen suunnittelu. Työn suorittaminen oli rajattu osittaiseen mekaniikan ja muotoilun suunnitteluun sekä mallinnettujen osien puhtaaksi piirtämiseen. CNC-ohjattavuus sekä sähköpuolen suunnittelu eivät kuuluneet tähän opinnäytetyöhön.

Tämä raportti on jaettu kahteen kokonaisuuteen. Ensimmäisessä osassa käsittelen teoriaa, jossa tarkastellaan metallin muovausta sekä asioita, jotka vaikuttavat paineastian päädyn muokkaamiseen. Käsittelen myös korroosio-osuuden, jossa tarkastellaan pistekorroosiota sekä rakokorroosiota, koska nämä ovat todennäköisimpiä vaihtoehtoja, mikäli korroosiota tulee esiintymään koneessa.

Toisessa osiossa käyn läpi mitä tässä työssä olen tehnyt. Tässä osiossa esittelen muun muassa työntoteutuksen, tulokset sekä vaadittavat jatkotoimenpiteet. Opinnäytetyössäni käsittelen vain ruostumattomia teräksiä, joita tullaan käyttämään valmistettavassa koneessa.

## 1.2 Moviator oy

Moviator Oy on yritys, joka valmistaa ja suunnittelee erikoiskoneita lähinnä metalliteollisuuden käyttöön. Yrityksen toimenkuvaan kuuluu, erilaisten koneprojektien lisäksi, myös alihankinta koneistukset metallialan yrityksille. Yrityksellä on käytössä tuotanto sekä kokoonpanotiloja n. 1500 m<sup>2</sup>. Yrityksen toimipaikka on Vaajakoskella, ja sitä lähellä sijaitsee muun muassa palloiluhalli Hutunki. Yrityksen henkilöstön määrä on neljästä seitsemään työntekijää, riippuen työtilanteesta. Yrityksen perustaja on Pertti Hänninen, hänen lisäkseen yrityksessä työskentelee hänen poikansa ja hänen vaimonsa. Moviator tekee yhteistyötä Jyväskylän ammattiopiston aikuispuolen kanssa. Aikuispuolen opiskelijat suorittavat työharjoittelujaksojaan Moviator yrityksessä. Erityisesti metallipuolen, sähköpuolen sekä automaatiopuolen opiskelijat suorittavat työharjoitteluitaan yrityksessä.

Yrityksellä on laaja konekanta pienyritykselle. Yrityksen konekantaan kuuluu CNC – koneita työstä alueelta 400 x 600 mm ja siitä suurempia aina 15 000 mm saakka. Eri- laisten sorvien ja työstökeskusten lisäksi on useita hiomakoneita, jotka ovat tarkoitettu tarkkoihin viimeistelytyöihin sekä työstökoneiden johteiden hiointaan.



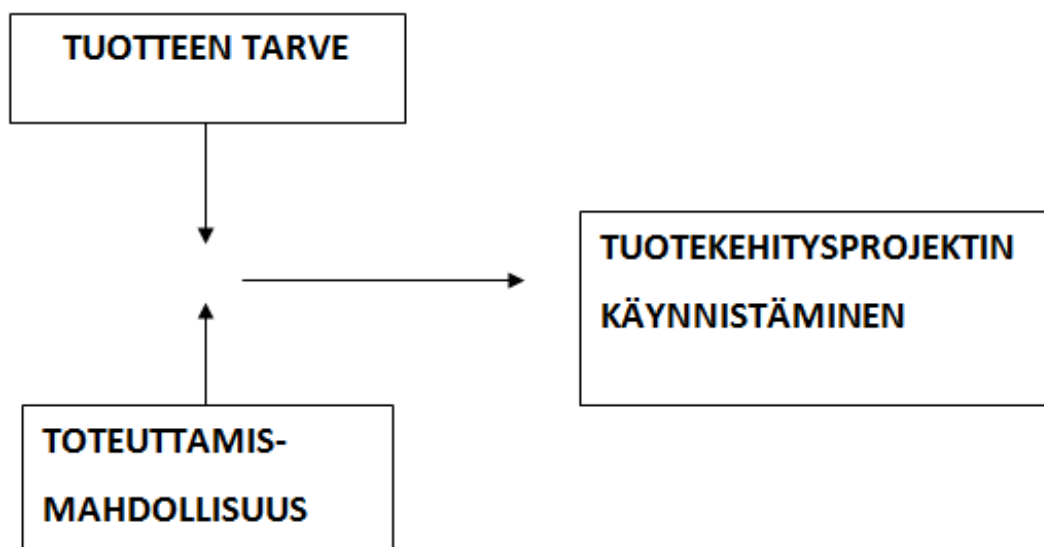
## 2 TUOTEKEHITYS

### 2.1 Tuotekehityksen vaiheet

#### 2.1.1 Käynnistäminen

Tuotekehitysprojektin käynnistämisen perusedellytyksenä on, että tuotteelle on tarve ja mielikuva sen toteuttamismahdollisuudesta. Nämä molemmat edellytykset tarvitaan, jotta tuotekehitysprojekti voidaan käynnistää (ks. kuvio 1). (Jokinen 1987, 17) Esimerkiksi autoteollisuudessa olisi varmasti tarvetta bensiinin korvaavalle polttoaineelle. Vielä kuitenkin ei ole löydetty täysin bensiiniä korvaavaa polttoaineen muotoa, tuotteelle on tarve mutta ei toteuttamismahdollisuutta.

Tässä opinnäytetyössäni molemmat käynnistämisen edellytykset täyttyivät. Tuotteelle oli tarve ja toteuttamismahdollisuus, joiden pohjalta opinnäytetyö käynnistettiin.



KUVIO 1. Tuotekehitysprojektin aloittamisen edellytykset (Jokinen 1987, 18, muokattu.)

Yrityksen tuoteideat voivat löytyä joko sattumalta tai systemaattisesti. Esimerkiksi penisilliinin kehittäminen aloitettiin, kun huomattiin sattumalta etteivät bakteerit viihtyneet homepilkun lähellä. (Proctor, 2010, 5.) Systemaattisten tuoteideoiden löytämiseksi on hankittava tietoa yrityksen sisäpuolelta sekä ulkopuolelta. Yrityksen on kartoitettava ns. yrityspotentiaali eli ne voimavarat, joilla yritys pystyy toimimaan. Nämä tiedot ovat yrityksen sisältä tulevaa tietoa. Tämänlaisia asioita ovat esimerkiksi

- käytettävissä olevat tutkimus-, suunnittelu-, ja markkinointihenkilökunta
- yrityksen taloudelliset resurssit
- käytettävissä olevat laitteet sekä työtilat
- olemassa olevat patentit ja lisenssit.

Tuoteideoiden systemaattiseen löytämiseen yritys tarvitsee tietoa omasta sekä omien tuotteiden asemastaan. Nämä tiedot ovat yrityksen ulkopuolelta tulevaa tietoa.

Tällaista tietoa kerätään mm. seuraavista lähteistä:

- asiakaskyselyt
- markkina-analyysit
- kilpailevien tuotteiden analyysit
- yleiset tekniikan kehitysennusteet ja muutoksenäkymät.

Mikäli omat voimavarat ovat rajalliset, niitä on joko vahvistettava tai on etsittävä yhteistyökumppani. Yrityksen hankittua tietoa sen sisä-, ja ulkopuolelta, kartoitetaan tuotealueet joilla yrityksen potentiaaliset menestymismahdollisuudet ovat suurimmat. Tuotealueille tunnusomaista on esimerkiksi se, että ne täyttävät tietyn toiminnon tai, että ne valmistetaan tietyistä raaka-aineista tai tietyllä valmistusmenetelmällä, tai että markkinointi on kohdistunut tietylle asiakaspiirille. (Jokinen 1987, 18 – 20.)

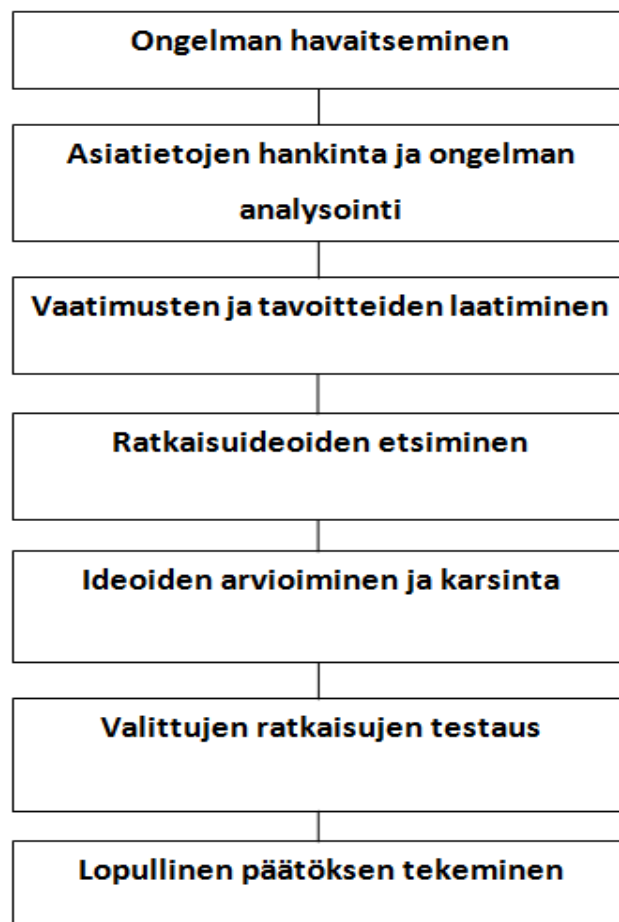
Löydetyistä tuoteideoista laaditaan kehitysehdotus, joka sisältää kuvauksen kehitettävästä tuotteesta, tuotteen tekniset ja taloudelliset vaatimukset, käytettävissä olevan kehityspanoksen ja aikataulun. Lopullisen kehityspäätöksen tekee yrityksen johto. Kun yrityksen johto on tehnyt kehityspäätöksen, alkaa luonnosteluvaihe. (Jokinen 1987, 21.)

Oman opinnäytetyöni tuoteidea syntyi osittain sattumalta ja osittain systemaattisesti. Idean kehittäjä Pertti Hänninen havaitsi, että paineastioiden päätyjen valmistus voidaan toteuttaa rullamuovaus menetelmällä. Markkinoilta ei vielä löydy konetta, jolla paineastian päädyt voitaisiin valmistaa yhdellä koneella alusta loppuun, jolloin myös tarve täyttyi. Yrityksen rajallisten resurssien johdosta tarvittiin lisää työvoimaa kehittämään ja suunnittelemaan konetta. Tämän johdosta minulle löytyi opinnäytetyöpaikka.

### 2.1.2 Luonnostelu

Tuotekehitysprosessin luonnosteluvaihe aloitetaan, kun lopullinen kehityspäätös on tehty. Luonnosteluvaiheessa etsitään eri ratkaisuvaihtoehtoja kehitettävälle tuotteelle. Tässä vaiheessa ei tehdä vielä mittakaavaan laadittuja yksityiskohtaisia piirustuksia. Laadittavat kuvat ovat ratkaisuperiaatteita selventäviä luonnoksia. Luonnostelussa käytetään samoja työvaiheita kuin mitä esimerkiksi päätöksenteossa tai ongelman ratkaisussa käytetään (ks. kuvio 2). Päätöksentekoa ja ongelmanratkaisua varten on laadittu monia eri menetelmiä. Ratkaisun yleinen kulku on samantyyppinen ja eri menetelmät eroavat toisistaan käytännössä yksityiskohdissa ja työvaiheiden erilaisilla painotuksilla. Ratkaisun yleinen kulku on esitetty kuviossa 2. (Jokinen 1987, 21–22.)

Luonnostelu alkaa ongelman havaitsemisesta. Ongelma tai selkeä kehitysidea pitää tunnistaa, jotta voidaan kehittää uutta tai olemassa olevaa tuotetta paremmaksi. (Jokinen 1987, 21.) Esimerkiksi oman opinnäytetyöni aihe lähti liikkeelle, kun Pertti Hänninen havaitsi, että paineastian päädyt voitaisiin valmistaa yksinkertaisemmin erilaisella valmistusmenetelmällä. Hän siis havaitsi selkeän kehityskohteen.



**KUVIO 2. Luonnostelun työvaiheet** (Jokinen 1987, 22, muokattu.)

Seuraavana on vuorossa asiatietojen hankinta ja ongelman analysointi. Asiatietojen hankinta ja ongelman analysointi käydään huolellisesti läpi ja pyritään löytämään vastauksia mm. seuraaviin kysymyksiin: Mikä ongelman ydin on? Mitä toiveita ja odotuksia on olemassa? Onko tehtävänasettelussa etukäteen asetettuja rajoituksia? Mitkä ovat asiakkaan toivomukset? Mitkä ovat vastaavien tuotteiden heikot kohdat? On myös pohdittava, mitä ominaisuuksia ratkaisulla tulee olla ja mitä ominaisuuksia ei saa olla. (Jokinen 1987, 23.)

Tavoitteet on asetettava korkeammalle, kuin markkinoiden paras tuote. Jos pyritään yhtä hyvään tuotteeseen, tuotekehitystä ei tapahdu. Myös kilpailijat kehittävät jatkuvasti tuotteitaan. Kehitystyötä aloittaessa paras tuote ei enää kehitystyön päättyessä olekaan enää markkinoiden paras. Vaatimusten asettelussa otetaan huomioon

tuotteelta vaadittavat kiinteät- ja vähimmäisvaatimukset sekä toivomukset (ks. taulukko 1). Taulukossa 1. on esimerkki vaatimuslistasta.

**TAULUKKO 1. Esimerkki vaatimuslistasta**

<b>Kiinteät vaatimukset</b>	
	— Akseli liikkuu vaakasuorassa 1000 mm
	— Kone toimii 230 V jännitteellä
<b>Vähimmäisvaatimukset</b>	
	— Hyötysuhteen alaraja on 65 %
	— Melutason yläraja on 85 dB
<b>Toivomukset</b>	
	— Kone on sininen

Kiinteät vaatimukset ovat vaatimuksia, jotka ratkaisun tulee ehdottomasti täyttää. Vähimmäisvaatimukset ovat raja-arvoja, jotka on saavutettava. Nämä ovat arvoja, joiden ylittäminen tai alittaminen on toivottavaa. Toivomukset ovat toivomuksia, jotka otetaan huomioon mahdollisuuksien mukaisesti. (Jokinen 1987, 27 – 30.)

Vaatimusten ja tavoitteiden asettelun jälkeen lähdetään kartoittamaan eri ratkaisuita. Tuotekehitysprosessi on edennyt niin pitkälle, että kehitettävä tuote on tarkkaan analysoitu ja tavoitteet sekä vaatimukset on asetettu. Nyt kehitystyöhön osallistuneille on muodostunut mielikuva, millainen kehitettävän tuotteen tulisi olla. Ratkaisujen etsimiseen voidaan käyttää lukuisia eri keinoja, esimerkiksi aivoriihi on tunnettu ideointimenetelmä. (Jokinen 1987, 30,37.)

Ratkaisut kootaan yhteen, ne arvioidaan ja huonot ideat karsitaan pois. Arvostelu on kuitenkin vaikea tehtävä, koska monien arvosteluperiaatteiden huomioon ottaminen on hyvin vaikeaa. Kaikkia arvosteluperiaatteita ei voida mitata samalla mittarilla, esimerkiksi rahalla. Arvosteluun liittyy myös aina epävarmuus. Varmasti ei tiedetä ratkaisun onnistuneisuutta, ennen kuin ratkaisu on toteutettu. Myöskään ei tiedetä varmasti, onko kaikki lopputulokseen vaikuttavat näkökohdat ja tekijät osattu ottaa

huomioon arvostelussa. Ratkaisusta on hyvä tehdä karkea arvostelu. Kuviossa 3 on Casimirin menetelmällä tehty karkea arvostelu ratkaisuideoiden hylkäämiseksi. Muita karkean arvostelun periaatteita ovat esimerkiksi painoarvotaulukko ja S-diagrammi. (Jokinen 1987, 75–77)

Ratkaisuvaihtoehdot	Arvosteluperusteet							Huomautuksia ( ohjeita, perusteluja )	Päätös
	A Vastaa tehtävän asetusta	B Täyttää vaatimustan	C Toteuttamiskelpoisuus hyvä	D Kustannukset kohtuulliset	E Täyttää välittömät turvallisuuks vaatimukset	F Soveltuu omaan alaan	G Muuta		
1	+	+	+	?	+	+		D: Lukuisat anturit nostavat hintaa	?
2	+	-						B: Hyötysuhde liian pieni	-
3	+	+	+	+	+	+			+
4	-	-							-
5	+	!	+	+	+	+		B: Vaatimuslista tasapainoton ?	!
6	+	+	+	-					-
7	-	-							-
8	+	+	-						-
9	+	+	+	+	+	?		F: Tekninen tieto riittämätön ?	?
10	-	-							-
11	+	+	+	+	+				+
12	+	+	+	-					-

**KUVIO 3. Casimirin menetelmä ratkaisuvaihtoehtojen arvioimiseksi** (Jokinen 1987, 77.)

Kuvion 3 merkit tarkoittavat seuraavaa: Arvostelun tulos kyllä (+) ei (-), informaation puuttuminen (?), vaatimuslista tarkistettava uudelleen (!). Tehdyt päätökset: Ratkaisua kehitetään lisää (+), ratkaisu hylätään (-), informaatiota hankittava lisää (?), vaatimuslista on tarkistettava (!). (Jokinen 1987, 77.)

Valittua ratkaisuideaa, tai valittuja ratkaisuideoita, on analysoitava ja testattava seuraavista näkökulmista: haittavaikutukset, herkkyydet ja potentiaaliset ongelmat.

Haittavaikutusanalyysissä käytetyt arvosteluperusteet ja harkinta käydään läpi. Haittavaikutusanalyysissä arvioidaan mahdollisia tulevia haittavaikutuksia, sekä analysoidaan voiko ehdotettu ratkaisu sisältää joitakin negatiivisia tai positiivisia seuraamuksia, joita ei ole otettu arvostelussa lainkaan tai vain vähäisessä määrin huomioon. (Jokinen 1987, 86 – 87.)

Herkkyysanalyysissä selvitetään, kuinka herkästi ratkaisuideoiden järjestys muuttuisi, mikäli arvostelupisteet tai painoarvot olisi arvioitu eri tavalla. Näin saadaan kuva arvostelupisteiden raja-arvoista, joiden välissä eri vaihtoehtojen järjestys ei tule muuttumaan. Samalla saadaan ilmi tekijät, joiden ennusteista poikkeava toteutuminen vaikuttaa eniten arvostelujärjestykseen. (Jokinen 1987, 86 – 87.)

Potentiaalisten ongelmien analyysissä etsitään tekijöitä, jotka olosuhteiden muuttuessa aiheuttavat sen, että tehty päätös ei olekaan paras vaihtoehto. Toisin sanoen tehty päätös muuttuu virheelliseksi. Potentiaalisia ongelmia voidaan pyrkiä ratkomaan vasta sitten, kun ne ilmenevät. Kartoituksessa voidaan käyttää apuna muun muassa taloudellisia ennustuksia, tekniikan kehittymisen ennustuksia ja poliittisten olojen muutoksien ennusteita. Potentiaalisten ongelmien ennaltaehkäisy on tärkeää ja edullisempaa kuin ongelmien synnyn odottaminen. Ennaltaehkäiseviä toimenpiteitä ovat esimerkiksi seuraavat:

- Harkitaan mitä potentiaalisten ongelmien ratkaisu aiheuttaa, mikäli kaikki ei toteudu kuvitellulla tavalla.
- Varmistetaan ettei ratkaisevaa muutosta kuviteltua tilannetta pääse syntymään
- Laaditaan toimintasuunnitelma potentiaalisten ongelmien varalle ja pyritään minimoimaan näin ongelmien vaikutukset mahdollisimman pieniksi. (Jokinen 1987, 86-87.)

Tuotekehitysprosessin luonnostelun viimeinen vaihe on hyväksyttäminen. Hyvistäkään ideoista tai kehitetyistä tuotteista ei ole hyötyä, jos niitä ei toteuteta. Tuotteelle

tai idealle tulee saada hyväksyntä esimieheltä tai asiasta päättävältä ryhmältä. (Jokinen 1987, 87.)

### 2.1.3 Kehittäminen

Tuotteen kehittelyvaiheessa tuotteen tekniset yksityiskohdat suunnitellaan siten, että viimeistelyvaiheessa työpiirustukset ja osaluettelot ovat tehtävissä. Kehittelytyövaihe alkaa mittakaavaan laadittavalla konstruktion tekemisellä, jossa lähtökohdina ovat ratkaisuluonnos ja vaatimuslista. Teknisten ja taloudellisten kriteerien perusteella arvostellaan suunnittelun tulos ja arvo. Arvosteluvaiheessa tulevat ilmi mahdolliset tekniset ja taloudelliset heikot kohdat. Nämä heikot kohdat pyritään poistamaan tuotteesta. Poistaminen tapahtuu uudelleen suunnittelulla ja uusien ratkaisumahdollisuuksien ideoimisella. Lisätietojen hankkimiseen joudutaan mahdollisesti käynnistämään uusia tutkimushankkeita. (Jokinen 1987, 89 – 90.)

Kun heikot kohdat on saatu minimoitua, päädytään parannettuun konstruktion. Jälleen tämän konstruktion tekniset ja taloudelliset arvot määritetään. Mikäli tulos ei tyydytä, jatketaan uusien ratkaisumahdollisuuksien kehittämistä ja uudelleen suunnittelua. On myös mahdollista hylätä valittu ratkaisuluonnos ja valita toinen ratkaisuluonnos kehitystyön perustaksi. Kun lopullisen konstruktion heikot kohdat on riittävän hyvin poistettu, alkaa yksityiskohtien suunnittelu. Yksityiskohtien suunnittelulla etsitään kohteita, joiden optimoinnilla saadaan parannettua oleellisesti konstruktion arvoa. Tällöin myös analysoidaan järjestelmän luotettavuus ja häiriöalttius. Konstruktion vahvistuspäätös on kehittelyvaiheen viimeinen osio. (Jokinen, 1987, 90 – 91.)

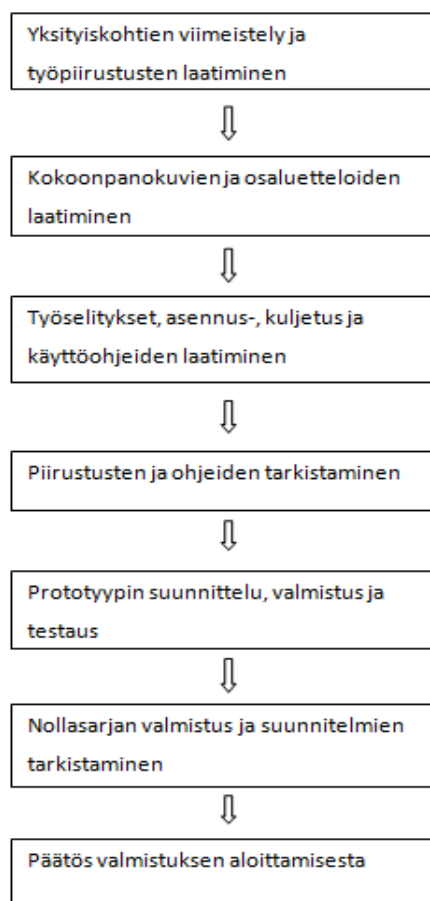
### 2.1.4 Viimeistely

Viimeistelytyövaiheessa kehitetystä konstruktiosta tehdään lopulliset työselitykset ja piirustukset, asennus- ja käyttöohjeet ym., joita edellytetään tuotteen valmistuksessa ja käytössä. Tässä vaiheessa tehdään lopulliset päätökset käytettävistä raaka-aineista, valmistusmenetelmistä, pintakäsittelyistä, toleransseista jne. Tuotteesta voidaan tehdä prototyyppi, mikäli se menee sarjavalmistukseen ja prototyyppi on edullinen valmistaa. Kalliista laitteesta prototyyppiä ei ole mahdollista eikä järkevää



valmistaa. Pienoismaalleja ja kriittisten osien koekappaleita on syytä tehdä, näin voidaan todentaa valittujen ratkaisujen toimivuus ja oikeellisuus. On hyvin tärkeää, että kaikki piirustukset, osaluettelot ja muut laadittavat ohjeistukset tarkistetaan ennen valmistuksen aloittamista. Viimeistelyn työvaiheet on esitetty kuviossa 4. (Jokinen, 1987, 96 – 99.)

Esimerkiksi oman opinnäytetyöni prototyyppiä ei ole järkevää valmistaa. Koneesta tulee hyvin suuri ja järeä, jolloin valmistuskustannukset nousevat suuriksi. Opinnäytetyössäni käytän Catia V15 ohjelmistoa apuna, jolla pystyn tarkastelemaan esimerkiksi ovatko liikeradat oikeat.



**KUVIO 4. Viimeistelyn työvaiheet** (Jokinen 1987, 97, muokattu.)

Kuviossa 4 on prototyypin suunnittelu, valmistus ja testaus sijoitettu viimeistelytyövaiheen loppupuolelle. Käytännössä näin ei tapahdu lähellekään aina. Prototyyppiä saatetaan tehdä jo luonnosteluvaiheen yhteydessä. Prototyypin avulla voidaan selvittää

tää edullisimpia valmistusmenetelmiä, sekä selvittää tuotteen teknisiä ja taloudellisia ominaisuuksia. Prototyyppejä saatetaan valmistaa koko tuotekehitysprosessin ajan. (Jokinen 1987, 98.)

Nollasarjan valmistuksen tarkoituksena on tutkia ja testata valmistusmenetelmät, joilla tuotetta on sarjavalmistuksessa tarkoitus tehdä. Nollasarja kuten prototyyppi-kin antavat informaatiota valmistuskustannuksista sekä tuotteen teknisistä ominaisuuksista. Tuotannon aloittaminen ei merkitse tuotekehitysprosessin päättymistä. Tuotetta on kehitettävä, jotta se on kilpailukykyinen markkinoilla myös tulevaisuudessa. (Jokinen, 1987, 96 – 99.) Esimerkiksi ensimmäiset matkapuhelimet olivat halon kokoisia ja niillä pystyi vain soittamaan. Nykyään lähes kaikilla matkapuhelimilla pääsee Internetiin lukemaan päivän uutiset ja niillä pystyy soittamaan videopuheluita maapallon toiselle puolelle. Tuotekehitystä on siis tapahtunut huimasti.

## 2.2 Ergonomia ja työturvallisuus

Ergonomialla tarkoitetaan teknisen ympäristön muokkaamista sopivaksi ihmiselle. Ergonomialla tähdätään ihmisen henkisen ja fyysisen elämän helpottamiseen sekä tasapainottamiseen. Laitteen kehittäminen ergonomisesta näkökulmasta merkitsee sitä, että laitteen muotoilu ja käyttö suunnitellaan ihmiselle sopivaksi. Ergonomises-  
sa suunnittelussa on otettava huomioon muun muassa kohteen käyttöai-  
ka, (käytetäänkö laitetta kerran vuodessa vai 16 tuntia päivässä), ihmisen mitat, raajo-  
jen edulliset liikeradat, lihasvoiman suuruudet, käyttökohteen sijoittaminen (kuinka  
korkealla laite on), muotoilu jne. On myös huomioitava, että ihminen reagoi vain ym-  
päristössä tapahtuviin muutoksiin. Jos halutaan korostaa jotakin tiettyä asiaa tai toi-  
mintoa esimerkiksi vilkkuva valo tai kuuluva ääni ovat varmasti huomiota herättäviä.  
(Jokinen, 1987, 114 – 116.)

Työturvallisuus perustuu erilaisiin standardeihin sekä lakeihin. Työnantajia koskevat  
yleiset vaatimukset on esitetty työturvallisuuslaissa (738/2002). Työturvallisuuslakia  
kutsutaan työpaikkojen ”perustuslaiksi”. Koneiden turvallisen käytön kannalta merki-  
tyksellisiä vaatimuksia ovat esimerkiksi pykälät 8§, 10§ ja 41§. Pykälä 41§ käsittelee  
koneiden käyttöä. Pykälän 10§ mukaan turvallisuuden hallinta edellyttää vaarojen  
sekä riskien järjestelmällistä tunnistamista sekä selvittämistä. Työnantajan yleiset

huolehtimisvelvoitteet ovat esitetty pykälässä 8§. Turvallisuuden takaamiseksi mahdolliset toimenpiteet on suoritettava ensisijaisuusjärjestyksessä seuraavasti:

1. Vaarojen syntyminen on estettävä.
2. Vaaratekijät poistetaan tai niiden riskejä pienennetään.
3. Riskien hallinta toteutetaan teknisillä toimenpiteillä ennemmin, kuin esimerkiksi ohjeistuksilla tai henkilönsuojaimilla.

Konelaki (1016/2004) esittää eräiden teknisten laitteiden vaatimuksenmukaisuudet. Tämä laki koskee erityisesti koneiden valmistajia, maahantuoja, myyjiä sekä muita koneiden käyttöön luovuttajia. Laki edellyttää koneiden olevan niitä koskevien vaatimusten mukaisia. (Työturvallisuuskeskus, 2009, 4 – 5.)

Koneiden käyttöä sekä tarkastamista säätelee käyttöasetus (403/2008). Asetuksessa on yleisiä vaatimuksia muun muassa seuraavista asioista:

- koneen valitseminen ja sijoittaminen 2§
- käyttö-, huolto- ja tarkastusohjeet 3§
- vaarojen tunnistaminen sekä niistä aiheutuvien riskien arviointi ja hallinta 4§
- turvallisuuden jatkuva varmistaminen koneiden koko käyttöiän ajan 5§.

Koneasetuksessa (400/2008) esitetään yksityiskohtaiset vaatimukset, jotka koneen on täytettävä, jotta koneen voi myydä tai valmistaa omaan käyttöön. Lisäksi on olemassa lukuisia standardeja, jotka käsittelevät työturvallisuutta. Tällaisia standardeja ovat muun muassa: SFS-EN ISO 12 100 (osat 1 ja 2), jotka käsittelevät koneiden yleisiä turvallisuusperiaatteita. SFS-EN ISO 14 121-4 käsittelee koneiden riskien arviointia. Sekä SFS-EN ISO 13 849-1 käsittelee turvallisuuteen liittyviä koneiden ohjausjärjestelmiä. Kaikista työturvallisuusrikoksista on mahdollista tuomita yritys sakkoihin, mikäli työnantajan katsotaan laiminlyövä työturvallisuutta. (Työturvallisuuskeskus, 2009, s. 5 – 6.)

## 2.3 Patentti ja mallisuojaus

Keksijänoikeuksia oman keksinnön ammatilliseen käyttöön suojataan kansallisin ja kansainvälisin sopimuksin. Patentoinnilla hankitaan keksinnölle lakiin ja kansainvälisiin sopimuksiin perustuva yksinoikeus sen ammatilliseen hyväksikäyttöön esimerkiksi määrääjäksi tai määräalueelle. Patenttisuojan lisäksi teknisten kehitystöiden tuloksia voidaan suojata mallisuojaalla. Mallisuoja antaa yksinoikeuden tuotteen ulkomuodon ammatilliseen hyväksikäyttöön. (Huhtala, V., Makkonen, T., Ojanen, T. & Rusanen, A. 1987,78.)

Patentoiminen suojaa keksinnön, tai sen avulla valmistetun tuotteen ammatillisen käytön muilta, kuin patentin omaavilta. Patenttilain 1 artiklan mukaan patentinhaltija saa yksinomaisen oikeuden keksinnön hyödyntämiseen. Patentinomistajalla on oikeus kieltää muiden henkilöiden, esimerkiksi kilpailevan yrityksen, ammatillinen hyödyntäminen patentoimallaan keksinnöllä. Patentti voidaan pitää korkeintaan 20 vuotta voimassa. (Oesch, R. & Pihlajamaa, H. 2008, 109 – 110 ja 123.). Keksinnön ammattimainen hyödyntäminen sisältää seuraavat toimenpiteet: tuotteen valmistus, vaihdantaan saattaminen, käyttö, maahantuonti ja hallussapito. Samoin hyödyntämiseen luetaan myös menetelmän käyttö tai tarjoaminen käytettäväksi sekä suojatulla menetelmällä valmistetun tuotteen tarjoaminen, käyttö tai vaihdantaan saattaminen. (Patenttilaki 3§.)

Mallisuoja on oikeus tuotteen ulkomuotoon. Suojaus kattaa yksinomaan tuotteen ulkomuodon. Esimerkiksi tuotteen sisältämät tekniset ratkaisut eivät sisälly mallisuojaan. Mallin ulkomuoto ilmenee sen piirteiden antamasta kokonaisvaikutelmasta, tällaisia piirteitä ovat esimerkiksi linjat, ääriviivat, värit, muodot, materiaalit, pintarakenteet yms. Mallisuojan kohteeksi kelpaa vain konkreettinen tavara tai sen osa. Mallisuojan rekisteröinti on viisi vuotta hakemispäivästä lähtien. Mallisuoja voidaan uusua neljä kertaa aina viideksi vuodeksi kerrallaan. Enimmäissuoja-aika on 25 vuotta. (Patentti- ja rekisterihallitus, 2011.)

## 3 PAINELAITEDIREKTIIVIT JA STANDARDIT

### 3.1 Painelaitteet

Painelaitteiden määritykset painelaitedirektiivin (97/23/EY) mukaisesti.

*Painelaitteeksi luokitellaan laite, jonka paine suurimmassa sallitussa lämpötilassa on yli 0,5 bar suurempi kuin ilmakehän normaali paine (1013 mbar). Lämmittämättömäksi painelaitteeksi luokitellaan painelaite, jota ei lämmitetä liekillä tai muulla sellaisella tavalla, jolla syntyy ylikuumenemisen vaara. Painelaitteet tulee suunnitella, valmistaa, tarkastaa, varustaa ja asentaa siten, että niillä on taattu turvallisuus. Painelaitteet tulee suunnitella asianmukaisesti, ottaen huomioon kaikki tekijät, joiden perusteella on mahdollista taata turvallisuus koko laitteen käyttöä ajaksi. Suunniteluun kuuluvat asianmukaiset varmuuskertoimet, joiden katsotaan olevan riittävät kaikenlaisten vikojen yhtenäisellä tavalla tapahtuvaan ennakoimiseen. Käyttötarkoituksia vastaavia kuormituksia sekä kohtuudella ennakoitavien olosuhteiden perusteella on painelaitteet suunniteltava. Erityisesti on kiinnitettävä huomiota paineenkestön ja lujuuden suunnitteluun ja laskentoihin. Painelaitteet on myös suunniteltava siten, että niiden turvallisuuden kannalta tarpeelliset tarkastukset on mahdollista suorittaa. Korroosiota ja muita haitallisia kemiallisia vaikutuksia vastaan on varauduttava lisäpaksuudella tai tarkoituksenmukaisella suojauksella. Suunnitellun laitteen vaatimuksenmukaisuus voidaan osoittaa koetusohjelmalla, joka suoritetaan laitteen koekappaleella. Koetusohjelmaan kuuluvat paineenkestokoe, virumis- tai väsymiskoe (mikäli vaara on olemassa) ja tarvittaessa täydentävät kokeet. (Painelaitedirektiivi 97/23/EY.)*

## 3.2 Painelaitteissa käytettävät materiaalit

Seuraava osio on suora lainaus standardista SFS-EN 13445: Osa 2 materiaalit. Tarkeimmat tiedot ja yksityiskohdat on katsottava standardista.

*Paineenalaisissa säiliöissä sekä säiliön osissa on käytettävien materiaalien täytettävä SFS-EN 13445:n mukaiset yleiset sekä erityiset vaatimukset. Materiaalit on valittava siten että ne soveltuvat käytettäviin valmistusmenetelmiin sekä sisältöihin ja ulkopuolisiin olosuhteisiin. Sekä tavalliset käyttöolosuhteet että valmistuksen, kuljetuksen, testauksen ja käytön aikaiset poikkeavat olosuhteet on otettava huomioon materiaaleja määrittäessä. Materiaaleissa ei saa olla niiden käyttöä haittaavia pintaviikoja tai sisäisiä vikoja. Mikäli valmistusmenetelmä tai käyttöolosuhteet vaikuttaa materiaalin käytettävyyteen siten, että ne voivat vaarantaa painesäiliön turvallisuuden tai vaikuttavat haitallisesti sen käyttöikään, tämä on otettava huomioon materiaalia määrittäessä. Käytettävillä materiaaleilla on oltava EN 10204:2004 mukaiset aineodistukset. Materiaalin myötöraja, 0,2-raja tai 1,0-raja on otettava suunnittelulämpötilan mukaisesti huomioon. (SFS-EN 13445-2, 2012.)*

Teräksillä, joita muovataan tai hitsataan, kemiallinen koostumus ei saa ylittää taulukon 2 esitettyjä raja-arvoja. Taulukossa on kuvattu hiili- (C), fosfori- (P) ja rikki- (S) pitoisuuksien enimmäisarvot. Hitsattavaksi tai muovattavaksi tarkoitettujen materiaalien ainepitoisuudet eivät saa ylittää näitä raja-arvoja. Paineenalaisissa osissa on merkittävät käytettävät materiaalit standardin SFS-EN 10204:n mukaisesti. Taulukossa mainittava materiaalityhmä (taulukko A.1) on esitetty liitteessä 1. (SFS-EN 13445-2, 2012.)

**TAULUKKO 2. Hiili-, fosfori- ja rikki-pitoisuuksien enimmäisarvot (SFS-EN 13445-2, 2012, 16)**

Materiaaliryhmä (taulukon A.1 mukaisesti)	Enimmäispitoisuus sulatusanalyyysissä		
	% C	% P	% S
Teräkset (1...6 ja 9)	0,23 <sup>a</sup>	0,035	0,025
Teräkset (1...6 ja 9) kun on käytetty jännitysanalyysin suoraa menetelmää <sup>c</sup>	0,20	0,025	0,015
Ferriittiset ruostumattomat teräkset (7.1)	0,08	0,040	0,015
Martensiittiset ruostumattomat teräkset (7.2)	0,06	0,040	0,015
Austeniittiset ruostumattomat teräkset (8.1)	0,08	0,045	0,015 <sup>b</sup>
Austeniittiset ruostumattomat teräkset (8.2)	0,10	0,035	0,015
Austeniittis-ferriittiset ruostumattomat teräkset (10)	0,030	0,035	0,015

<sup>a</sup> Enimmäispitoisuus kappaleanalyyysissä 0,25 %.

<sup>b</sup> Työstettäväksi tarkoitetuilla tuotteilla sallitaan sovittaessa hallittu rikkipitoisuus 0,015...0,030 %, mikäli korroosionkestävyys on riittävä aiotuun käyttöön.

<sup>c</sup> Lisäksi paksuusreduktion (alkuperäisen levyvalanteen paksuuden suhde lopulliseen levynpaksuuteen) on oltava vähintään

- neljä laatuluokan NL2 teräksille ja materiaaliryhmän 9 teräksille
- kolme muille materiaaleille.

Tuotteet ja toimituserät on merkittävä siten että niiden ja ainestodistusten välinen jäljitettävyyss säilyy. Näin ollen tuotteet ja toimituserät on merkittävä siten, että ainestodistus niiden jäljitettävyyteen säilyy. Taulukossa 3 on esitetty standardin EN 10204 mukainen ainestodistus. (SFS-EN 13455-2, 2012, 20) Muiden kuin ruostumattomien terästen on oltava täysin tiivistettyjä. Tuotteissa ei saa olla sellaisia virheitä, jotka estävät niiden aiotun käytön. ( SFS-EN 10028-1, 2009, 12,14)

**TAULUKKO 3. Standardin EN 10204 mukainen ainestodistus (SFS-EN 10204, muokattu)**

EN 10204	Ainestodistus	Ainetodistuksen sisältö	Ainetodistuksen vahvistaja
Tyyppi 2.1	Laatuvakuutus	Lausuma tilauksen vaatimustenmukaisuudesta	Valmistaja
Tyyppi 2.2	Koetodistus	Lausuma tilauksen vaatimustenmukaisuudesta sekä valmistusmenetelmäkohtaisen tarkastuksen tulokset	Valmistaja
Tyyppi 3.1	Vastaanottotodistus 3.1	Lausuma tilauksen vaatimustenmukaisuudesta sekä toimituseräkohtaisen tarkastuksen tulokset	Valmistajan valtuuttama tuotanto-osastosta riippumaton edustaja
Tyyppi 3.2	Vastaanottotodistus 3.2	Lausuma tilauksen vaatimustenmukaisuudesta sekä toimituseräkohtaisen tarkastuksen tulokset	Sekä valmistajan valtuuttama tuotanto-osastosta riippumaton edustaja että ostajan valtuuttama edustaja tai viranomaismääräyksissä määrätty tarkastaja

### 3.3 Painelaitteiden suunnittelu

Standardi SFS-EN 13445-3 on tarkoitettu lämmittämättömien painesäiliöiden suunnitteluun. Lämmittämätön painesäiliö tarkoittaa, ettei säiliötä lämmitetä liekillä.

Standardia sovelletaan lämmittämättömien painesäiliöiden lisäksi myös säiliöihin liitettäviin yhdyntäisiin: laippoihin, hitsattaviin osiin sekä kierrelitoksiin. Painesäiliön suunnittelussa on otettava huomioon SFS-EN 13445 standardin sekä painelaitedirektiivin 97/23/EY:n asettamat vaatimukset. (SFS-EN 13445-3)

Standardissa on monia laskentakaavoja, joiden pohjalta suunnittelu ja mitoitus toteutetaan. Suunnittelussa huomioitavia asioita ovat muun muassa: myötöraja, murtolujuus, korroosio, eroosio, suunnittelujännitykset, kuormitustapaukset, säiliön malli ja muoto, seinämän paksuus, viruminen, väsyminen, lämpötila ja liitokset. (SFS-EN 13445-3)

Seuraavat kaavat ovat suoria lainauksia standardista SFS-EN 13445: Osa 3 Suunnittelu. Tarkemmat tiedot ja yksityiskohdat on katsottava standardista.

#### 3.3.1 Säiliön päädyn mitoitus, joihin vaikuttaa sisäinen paine

Kuvioissa 5 - 8 esitetään yleisimmät paineastian standardimuotoiset päädyt. Laskuissa oletetaan vallitsevan normaalit olosuhteet. Standardista SFS-EN 13445-3 löytyy tarkemmat laskukaavat sekä kaavat lieriön- ja pallonmuotoisten kappaleiden laskentaan. Standardissa SFS-EN 13445-3 on esitetty sivulta 28 alkaen erimuotoisten päätyjen suunnitteluun vaikuttavat tekijät.

##### Kupera pääty

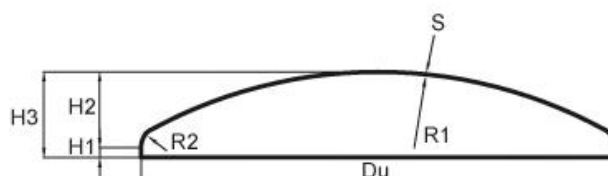
$$R1 = Du$$

$$R2 = 0,05 Du$$

$$H2 = 0,16 Du$$

$$H3 = H1 + H2$$

$$V = 0,074 (Du - 2s)^3$$



**KUVIO 5. Kupera pääty** (Standardimuodot, 2013, saarijärven päätytuote.)



## Klöpperform pääty

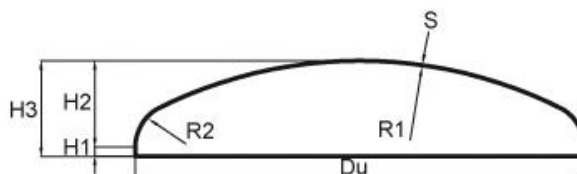
$$R1 = Du$$

$$R2 = 0,1 Du$$

$$H2 = 0,1935 Du - 0,445 s$$

$$H3 = H1 + H2$$

$$V = 0,1 (Du - 2 s)^3$$



**KUVIO 6. Klöpperform pääty** (Standardimuodot, 2013, Saarijärven päätytuote.)

## Korbbogen pääty

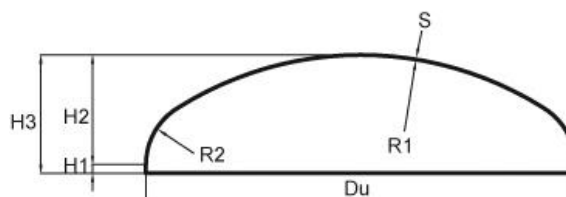
$$R1 = 0,8 Du$$

$$R2 = 0,154 Du$$

$$H2 = 0,255 Du - 0,635 s$$

$$H3 = H1 + H2$$

$$V = 0,1298 (Du - 2s)^3$$



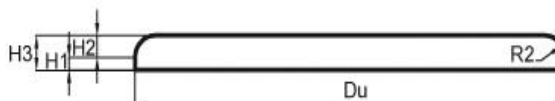
**KUVIO 7. Korbbogen pääty** (Saarijärven päätytuote, 2013, standardimuodot)

## Suora pääty

$$R2 = 25 - 50 \text{ mm}$$

$$H2 = R2$$

$$H3 = H1 + H2$$



**KUVIO 8. Suora pääty** (Standardimuodot, 2013, saarijärven päätytuote.)

### 3.4 Painelaitteiden valmistus

Kaavat ja kuviot, sekä osa lauseista ovat suoria lainauksia standardista SFS-EN 13445: Osa 4 valmistus. Tarkemmat tiedot ja yksityiskohdat on katsottava standardista.

#### 3.4.1 Paineenalaisten osien muovaus

Kuperille, ympyränmuotoisille tuotteille kuten paineastioiden päädyille voidaan laskea muovausaste (kaava 1). Kaikkia teräksiä ei tarvitse lämpökäsitellä. Nyrkkisääntönä voidaan pitää, että lämpökäsittämättömillä teräksillä muovausasteen  $F$  tulee olla pienempi kuin 5 %. Kuperat, ympyränmuotoiset kappaleet on esitetty kuviossa 9.

$$F = 100 \ln \frac{D_{b(x)}}{D_e - 2e} [\%] \quad (1)$$

jossa

$D_{b(x)}$  = aihion halkaisija (mm)

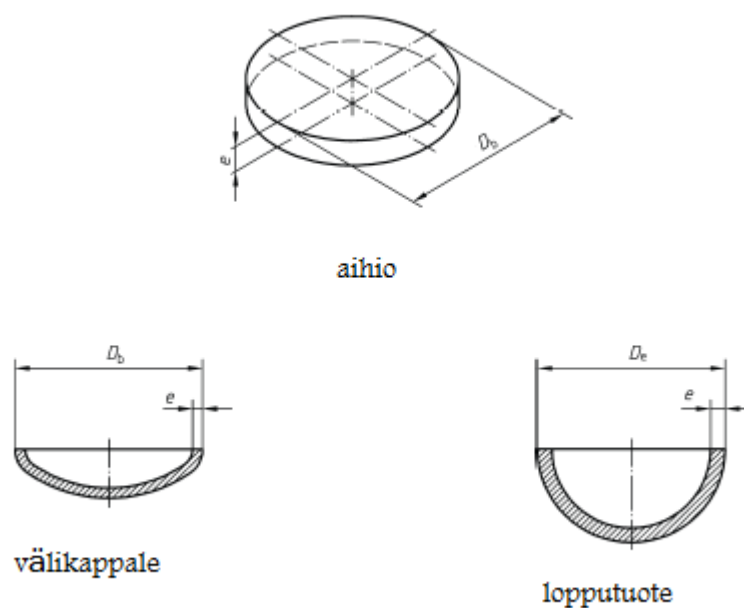
$D_e$  = lopputuotteen ulkohalkaisija (mm)

$e$  = aihion paksuus (mm)

$F$  = muovausaste (%)

$\ln$  = luonnollinen logaritmi

(SFS-EN 13445-4)



**KUVIO 9. Kuperien, ympyränmuotoisten kappaleiden muovaus (SFS-EN 13445-4, 48, muokattu.)**

Lieriöille ja kartioille lasketaan muovausaste kaavalla **2**. Lieriöt ja kartiot on esitetty kuviossa 10.

$$F = \frac{50e}{R_m} * \left(1 - \frac{R_m}{R_{mo}}\right) [\%] \quad (2)$$

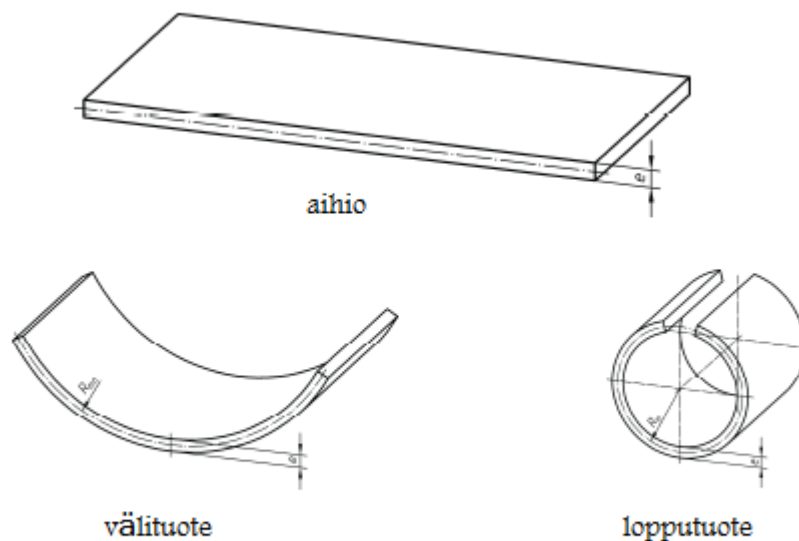
jossa

$e$  = aihion aineenpaksuus (mm)

$F$  = muovausaste (%)

$R_m$  = lopputuotteen keskisäde (kartiolle on käytettävä pienemmän halkaisijan keskisädettä) (mm)

$R_{mo}$  = välituotteen keskisäde (mm) (muovaamaton aihio  $R_{mo}$  = ääretön)



**KUVIO 10. Lieriöiden ja kartioiden muovaus** (SFS-EN 13445-4, 50, muokattu.)

Valmistajien on säilytettävä tiedot muovattujen paineenalaisten osien muovausmenettelystä ja lämpökäsittelystä. Terästen kylmämuovaus on suoritettava vähintään 30 °C suurimman sallitun jännityksen poistohehkutuslämpötilan alapuolella. (SFS-EN 13445-4)

## 4 RULLAMUOVAUS

### 4.1 Metallinmuovaus yleistä

Metallikappaleen muotoa pystytään muovaamaan ulkoisten voimien vaikutuksella. Kuviossa 11 on esitetty tätä asiaa. Muodonmuutoksia aiheuttaa myös kappaleiden sisäiset jännitykset. Lämpötilan muutokset aiheuttavat kappaleen laajenemisia ja kutistumisia. Rullamuovauksella saavutetaan kappaleen plastisia, eli pysyviä, muodonmuutoksia. Kimmorajaksi kutsutaan rajaa, jolla pysyvät muodonmuutokset alkavat. Kimmoraja voidaan määrittää Hooken lain (kaava 3) avulla.

$$R = E * e \quad (3)$$

$R$  = kimmoraja

$E$  = materiaalin kimmomoduuli

$e$  = suhteellinen venymä

Paineastioissa käytetään pääsääntöisesti ruostumattomia teräksiä, joiden kimmomoduuli on n.  $E = 210\,000\text{ N/mm}^2$ . Käytännössä rajan määrittäminen on hankalaa, joten kimmorajana pidetään muovattavan kappaleen myötörajaa tai myötölujuutta ( $R_e$ ).  $R_e$  raja ilmoitetaan aina valmistajan katalogissa. (Koivisto, Laitinen, Niinimäki, Tiainen, Tiilikka, Tuomikoski 2008, 63 - 69.)

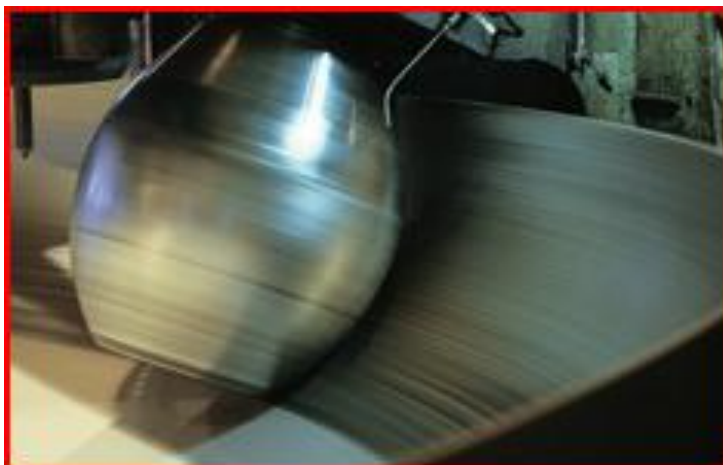


**KUVIO 11. Metallin kylmämuovaus** (Kylmämuovaus, N.d, Halikkogroup.)

## 4.2 Rullamuovaus yleistä

Rullamuovaus on kylämuovausmenetelmä, jossa metallilevyä muovataan muotorullaston avulla. Sileä metallilevy kulkee muotorullastojen välistä muovautuen vaiheittain valmiiksi profiiliksi. Rullamuovauksessa levyn seinämänpaksuudessa ei tapahdu oleellisia muutoksia. (Ongelin 1986, 3.) Kuviossa 12 on esitetty rullamuovaustekniikalla suoritettavaa reunantaivutusta.

Rullamuovaus asettaa vähäisiä rajoituksia muovattavan profiilin poikkileikkauksen muodolle. Poikkileikkauksen profiilinmuoto voidaan valita käyttökohteen, rakenteen toiminnan sekä lujuuden kannalta optimaaliseksi. Materiaalin pinta ei kolhiinnu rullamuovauksessa, joten näin myös pinnoitettujen materiaalien rullamuovaus on mahdollista. Muovattavat ainepaksuudet ovat 0,13 – 20 mm. Tuotantonopeudet ovat 3 – 190 m/min, yleisin tuotantonopeus on 10–40 m/min. (Ongelin 1986, 13.)



**KUVIO 12. Rullamuovaustekniikalla suoritettavaa reunantaivutusta** (Kylämuovaus, N.d, Halikkogroup.)

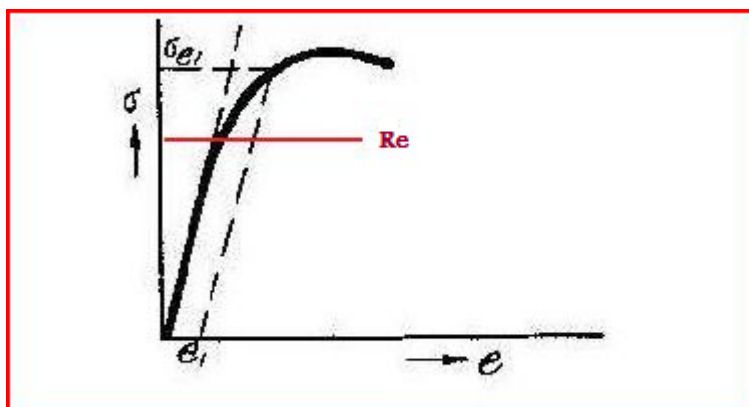
Rullamuovauksen etuina ovat muun muassa seuraavat:

- Tuotanto on nopeaa ja valmistettavat kappaleet ovat yhdenmukaisia.
- Monimutkaistenkin profiilien työstäminen onnistuu.
- Mahdollistaa suurien valmistuserien edullisen valmistuksen.

- Rullamuovauksella saavutetaan hyvä tuotteen mitta- ja muototarkkuus.
- Rullamuovaukseen soveltuvat kaikki metallit. (Ongelin 1986.)

### 4.3 Muokkauslujittuminen

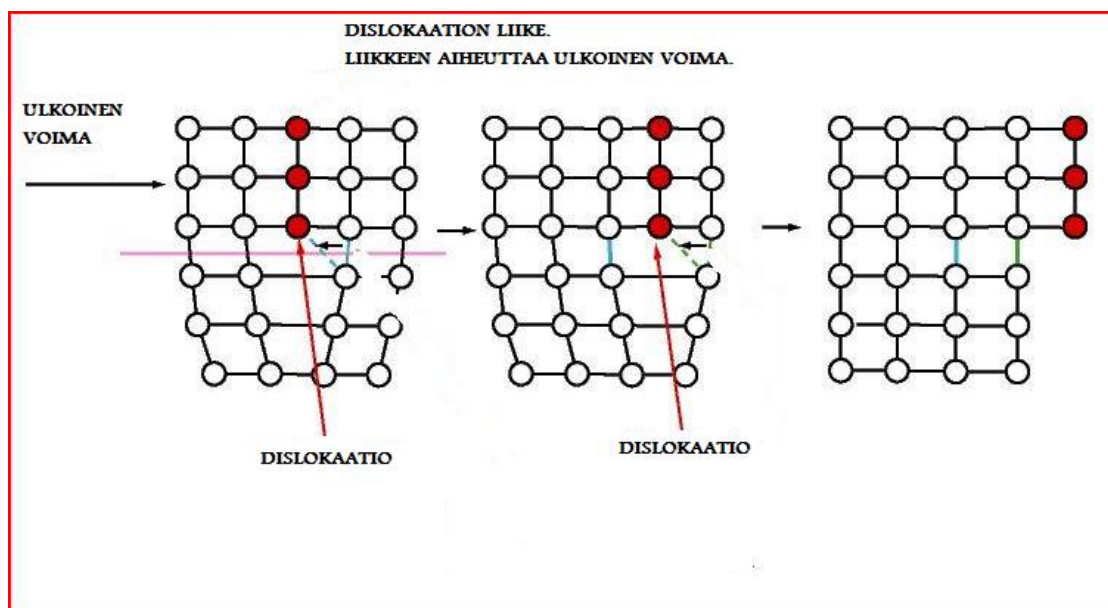
Kun metallikappaleeseen vaikutetaan ulkoisella kuormittavalla voimalla, saadaan metallikappaleen muoto muuttumaan. Aluksi muodonmuutos on palautuvaa, eli elastista. Metallille ominaisen raja-arvon ylitettyä, muodonmuutokset ovat plastisia eli, pysyviä. Tätä raja-arvoa sanotaan myötölujuudeksi ( $R_e$ ). Kuviossa 13 on esitetty jännitys-venymä-piirros. (Koivisto ym. 2008. 63 - 64 .)



**KUVIO 13. Jännitys-venymä-piirros** (Konetekniikan materiaalioppi, 2010, 64, muokattu.)

Kuviossa vasemmassa reunassa on kuvattu jännitys ( $\sigma$ ) ja alhaalla on venymä ( $e$ ). Kun jännitys kasvaa yli myötölujuuden ( $R_e$ ) syntyvät pysyvät muodonmuutokset. Kun ulkoinen jännitys poistetaan, pysyvä muodonmuutos ( $e_1$ ) on kuvattu kuviossa. Kun jännitys poistetaan, myötölujuusrajaan ( $R_e$ ) asti muodonmuutokset ovat kimmoisia, eli palautuvia. (Konetekniikan materiaalioppi. 2010. 64. Muokattu.)

Kylmää metallia muokattaessa dislokaatioiden, eli metallin sisäisten atomien liikemäärä, kasvaa suuresti. Dislokaatiot liikkuvat kiderakenteen läpi toisiaan seuraavina aaltolina. Tämän seurauksena syntyy plastisia muodonmuutoksia. Vähitellen dislokaatioiden liikkuvuus huononee. Tämä johtuu siitä, että ne vaikeuttavat toistensa liikumista, jonka seurauksena tarvitaan suurempaa ulkoista voimaa. (Koivisto ym. 2008. 65 – 67.) Dislokaatioiden liike on kuvattu kuviossa 14.



KUVIO 14. Dislokaation liike (Dislokaatio, 2001, muokattu)

## 4.4 Takaisinjousto

Muodonmuutoksia esiintyy aina kappaleessa, jota taivutetaan. Takaisinjousto on yksi tapahtuva muodonmuutos. Takaisinjousto on epäedullinen ja vaikeasti hallittava ilmiö. Takaisinjousto perustuu elastiseen muodonmuutokseen, jolloin ulkoinen muovaava voima ei ylitä materiaalille ominaista kimmorajaa. Levyä muovattaessa ulkoinen muovaava voima muodostaa puristus- ja vetojännitysvyöhykkeiden välille vyöhykkeen, jossa tapahtuu vain elastista muodonmuutosta. Tämä elastinen vyöhyke aiheuttaa sen, että levyn sisäistä voimatasapainoa ei saavuteta, kun ulkoinen muovaava voima poistuu. Tästä syntyneet levyn sisäiset jännitykset pyrkivät palautumaan alkuperäiseen muotoonsa. Tätä ilmiötä kutsutaan takaisinjoustoksi. (Matilainen ym. 2012. 245.)

Opinnäytetyöni paineastioita taivuttavalla rullamuovauskoneella saavutetaan suuret voimat, jotka muovaavat plastisia muodonmuutoksia työstettävään kappaleeseen. Tällöin takaisinjousto minimoituu. Mikäli syystä tai toisesta takaisinjoustoa alkaa ilmenemään työstettävissä kappaleissa, voidaan kappaleita muovata lisää, jotta saavutetaan asiakkaan vaatimukset.



## 5 MATERIAALI

### 5.1 Rullien materiaalit

Muovausrullien materiaalin valintaan vaikuttaa mm. muovattavan kappaleen paksuus, materiaali sekä lopullinen muoto. Yleensä käytettyjä materiaalivaihtoehtoja ovat: tavalliset rakenneteräokset, hiillytyskarkaisuteräokset, nitrattavat erikoisteräokset, öljykarkaistavat työkaluteräokset ja alumiinipronssit. Myös joissakin tapauksissa muovirullia käytetään. Rullat lämpökäsitellään koeajon jälkeen. Lämpökäsittelyn jälkeen rullat koneistetaan, jotta lämpökäsittelyssä syntyvät mittamuutokset saadaan minimoitua. Rullien pinnat hiotaan lopulta tasaisiksi. Näin saavutetaan rullien tasainen pyöriminen sekä tasainen muovauspaine. Muovaustulos paranee näiden asioiden johdosta. (Ongelin 1986, 23.)

### 5.2 Muovattavat materiaalit

Rullamuovaukseen soveltuvat käytännössä kaikki kylmämuovattavat metallit. Yleisimmin käytettyjä materiaaleja ovat: seostamattomat teräokset, ruostumattomat teräokset, mikroseostetut teräokset sekä, kupari ja alumiiniseokset. Materiaalin lujuuden kasvaessa tarvitaan hitaampaa muovausnopeutta tai enemmän muovausvaiheita. Myös pinnoitetut materiaalit soveltuvat rullamuovattaviksi. Liian voimakkaat taivutukset aiheuttavat pinnoitteen säröytymistä, hankautumista sekä tarttumista muovausrulliin. (Ongelin 1986, 37.)

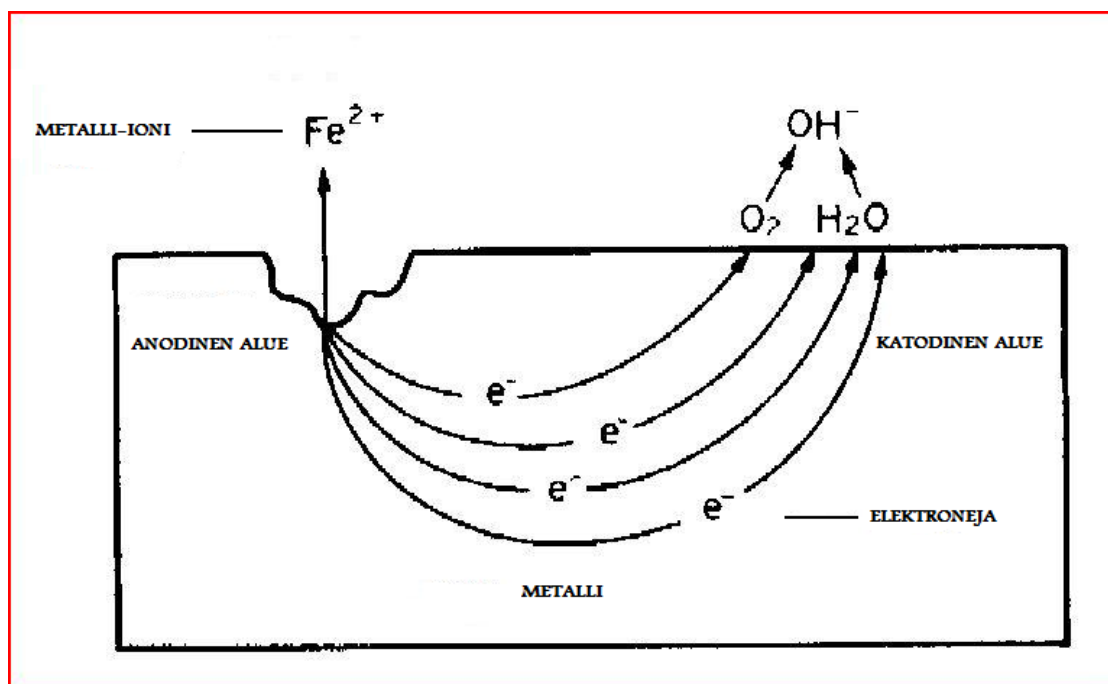
## 6 KORROOSIO

### 6.1 Korroosion perusteet

Korroosio on metallin syöpymistä, joka johtuu metallin hapettumisesta tai kemiallisesta liukenemisestä. Korroosio tapahtuu materiaalin ja ympäristön välisten kemiallisten ja sähkökemiallisten reaktioiden seurauksena. Nämä aiheuttavat metallisen kappaleen tehollisen poikkipinta-alan pienenemistä. Korroosion etenemisnopeuteen vaikuttavat ympäristön olosuhteet, muun muassa happipitoisuudet, kosteudet ja epäpuhtaudet. (Rautaruukin paineastiakäsikirja, 1999, 34.)

Ruostumattomilla teräksillä on hyvä korroosionkestävyys, mikä johtuu teräksen pinnalle muodostuneesta muutaman nanometrin paksuisesta kromirikkaasta oksidikalvosta. Tätä kalvoa kutsutaan passiivikalvoksi. Mikäli ympäristö on hapettava, kalvo pystyy rikkoontuessaankin uusiutumaan. Korroosiota tapahtuu ympäristöstä ja lämpötilasta riippuen, joko sähkökemiallisesti tai kemiallisesti. Sähkökemiallinen korroosio tunnetaan myös nimellä märkäkorroosio, jota esiintyy nestemäisessä ympäristössä metallin reagoidessa nesteiden kanssa. Kemiallinen korroosio eli kuivakorroosio esiintyy kaasumaisissa ympäristöissä metallin reagoidessa suoraan ympäristön kanssa. (Matilainen, Parviainen, Havas, Hiitelä, Hultin, 2011 40 – 41.)

Ruostumattoman teräksen yleisin esiintyvä korroosionmuoto on sähkökemiallinen korroosio. Sähkökemiallisessa korroosiossa metallin pinnalle muodostuu kahdenlaisia alueita, joista toisella tapahtuu metallin hapettumisreaktiota eli liukenemistä ja toisella pelkistymisreaktiota, eli elektronien luovutusta. Metallin liukenemisaluetta kutsutaan anodiseksi alueeksi. Anodisella alueella metallin liukenemisen johdosta vapautuvat elektronit siirtyvät katodiselle, eli pelkistyvälle alueelle. Katodisella alueella vapautuneet elektronit siirtyvät ulkopuoliseen sähköä johtavaan liuokseen. Kuviossa 15 on esitetty sähkökemiallisen korroosion toimintaperiaate. (Matilainen ym. 2011. 41)



**KUVIO 15. Sähkökemiallinen korroosio** (Kruger, 2001, muokattu.)

Anodisten ja katodisten alueiden muodostuminen metallien pinnalle voi olla seurausta muun muassa liasta, raoista tai mikrorakenne-eroista. Metallien pintojen välistä varauseroa kutsutaan konsentraatiopariksi. Varausero voi muodostua sähköisesti kosketuksissa olevien metallien välille. Metalleiden välisissä varauseroissa jalompi metalli muodostuu katodiksi ja epäjalompi syöpyväksi anodiksi. (Taulavuori, Kyröläinen, Manninen, 2001, 16.)

## 6.2 Yleinen korroosio

Yleisessä korroosiossa, eli syöpymisessä, metallin pinta syöpyy tasaisella nopeudella. Tämä johtuu siitä, että anodiset ja katodiset alueet vaihtavat jatkuvasti sijaintia. Yleinen korroosio on tyypillinen korroosionmuoto suojaamattomille metalleille. Korroosion vaikutus metalliin on esitetty kuviossa 16. Korroosio voidaan jakaa useampaan alalajiin, muun muassa rakokorroosioon, pistekorroosioon, raerajakorroosioon, jännityskorroosioon ja väsymiskorroosioon. (Korroosiokäsikirja 1988, 102.)

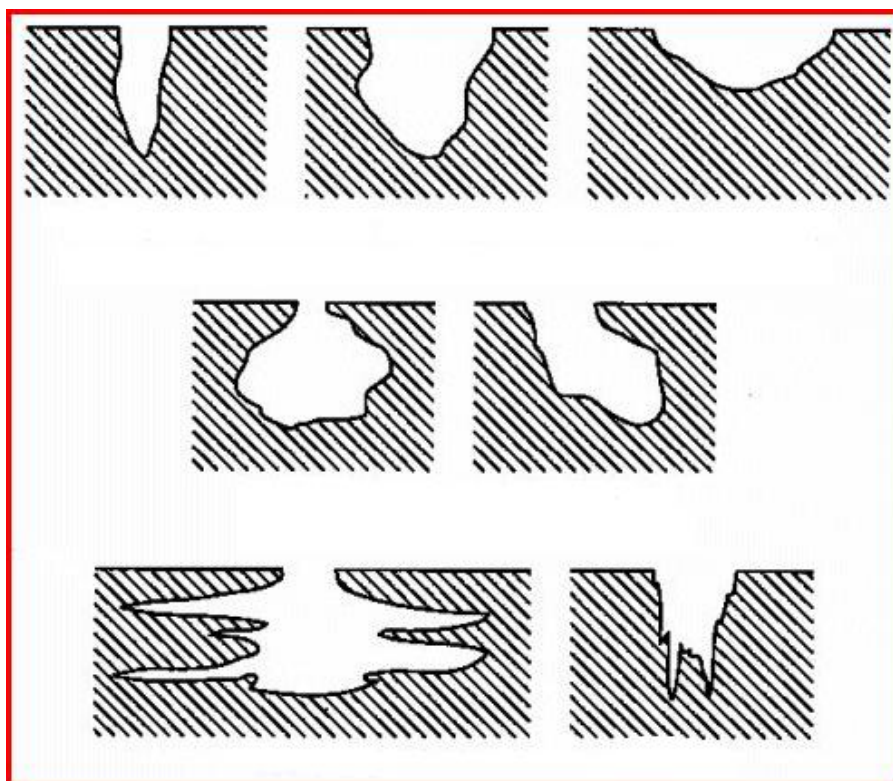
Esittelen tässä opinnäytetyössä pistekorroosion ja rakokorroosion.



**KUVIO 16. Korroosion vaikutus metalliin** (Pinnoitteet ja korroosionesto, N.d.)

## 6.3 Pistekorroosio

Pistekorroosiossa korroosio keskittyy metallin pinnalle pisteeksi, tai pieneksi alueeksi syövyttäen metallin pinnalle pieniä kuoppamaisia syvänteitä. Kuviossa 17 on esitetty erimuotoisia pistekorroosion syövyttämiä onkaloita. Pistekorroosio johtuu siitä, että pinnan passiivikerros on kemiallisesti tai mekaanisesti vaurioitunut ja ei heti uudelleen passivoidu. Vaurioitunut kohta muodostaa anodin ja ympäröivä alue muodostaa katodin. (Different types of corrosion, N.d.)



**KUVIO 17. Pistekorrosion syövyttämiä onkaloita** (Different types of corrosion, N.d, muokattu.)

Anodialueen pienestä koosta johtuen korroosionopeus on aluksi suurta, mutta hidastuu ajan kuluessa johtuen suuresta metalli-ionien määrästä. Tämän johdosta pistekorrosio harvoin etenee paksujen rakenteiden läpi. Pistekorrosio on tyypillinen korroosimuoto, niille metalleille joiden korroosionkestävyys perustuu pinnan passiivikerrokseen. Kuviossa 18 on esitetty pistekorrosio. Pistekorrosionkestävyyttä arvioidaan pistesyöpymiskertoimella (PRE = pitting resistance equivalent). PRE-arvo määritellään kaavalla 4:

$$PRE = \% Cr + 3,3 * \% Mo + 16 * \% N \quad (4)$$

jossa:

Cr = kromi

Mo = molybdeeni

N = typpi

Typen kerroin eri lähteiden mukaan voi olla myös 13 tai 30. PRE-arvon tulee olla teollisuusolosuhteissa alle 24, jotta voidaan välttää pistekorroosiota.

(korroosiokäsikirja, 1988, 103–106; Matilainen ym. 2011, 45–47.)



**KUVIO 18. Pistekorroosion esiintyminen** (Stainless steel, 2011.)

## 6.4 Rakokorroosio

Rakokorroosiota esiintyy pistekorroosion kanssa samanlaisissa olosuhteissa. Rakokorroosiota esiintyy metallin pinnalla, raoissa tai kahden liitospinnan välissä. Toisin sanoen paikoissa joihin syövyttävä neste pääsee tunkeutumaan, mutta ei vaihtumaan samalla nopeudella kuin muilla metallipinnan alueilla. Tästä johtuen happipitoisuuserot kasvavat liuoksessa, joka aiheuttaa korroosioparin muodostumista. Tällöin raossa happiköyhempi alue muuttuu anodiksi ja happirikkaampi alue katodiksi. Rakokorroosio kiihtyy kloridi-ioni pitoisuuden noustessa. Rakokorroosio on tyypillistä raoissa, joiden koko on 0,025–0,1 mm. Tällaisia rakoja on esimerkiksi erilaisissa niitti-, pultti-, ja hitsausliitoksissa. Rakokorroosiota esiintyy kaikilla metalleilla. Kuviossa 19 on esi-

tetty yksi tyypillinen rakokorroosion esiintymispaikka. Rakokorroosion kestävyys paranee mitä suurempi PRE-arvo on (kaava 9). (Korroosiokäsikirja, 1988, 107–108; Matilainen ym. 2011, 48.)



**KUVIO 19. Rakokorroosion esiintymispaikka putken ja seinämä välissä** (Different types of corrosion, N.d.)

Omassa opinnäytetyössäni rakokorroosiota tapahtuu todennäköisesti eniten, mikäli korroosiota rupeaa esiintymään. Rullamuovauskoneessa on paljon liitettäviä osia, jolloin syntyy pakostikin rakoja liitettävien osien väleihin.

## 6.5 Korroosion ennaltaehkäisy

Teoriassa korroosiota pystytään estämään poistamalla jokin korroosioparin toiminnalle välttämätön edellytys. Esimerkiksi pyritään poistamaan sähköä johtava aine liuoksesta (elektrolyytti). Tähän päästään esimerkiksi kuivaamalla ilmaa tai poistamalla happi. (Korroosiokäsikirja, 1988, 24.)

Korroosion ennaltaehkäisy voidaan tehdä oikealla materiaalinvalinnalla ja suunnitellulla. On vältettävä epäedullisia muotoja, kuten muotoja jotka edesauttavat lian kerääntymistä, rakoja ja onkaloita, avoimia profiileja, vaakasuoria pintoja ja muokattuja rakenteita. Yleisen korroosion ennaltaehkäisy suoritetaan oikealla ruostumattoman teräksen valinnalla. Pistekorroosiota ehkäistään pintojen puhtaana pitämisellä ja suojaamisella. Rakokorroosiota ehkäistään pintojen puhtaana pidolla. Rakojen ja onkaloiden ehkäisyyn voidaan käyttää tiivistysaineita, jotka estävät liuoksen pääsyn ra-

koon. Raosta voidaan tehdä myös niin suuri, että happi pääsee metallipintoihin. Metallin jälkikäsittelyllä voidaan ehkäistä korroosiota. Myös metallin jälkikäsittely toimenpiteitä ovat muun muassa:

- metallin maalaus
- metallin sinkitys
- sähköinen suojaus

(Matilainen ym. 2011, 49 – 50.)

## 7 TYÖN TULOKSET

### 7.1 Työn tavoitteet ja rajaus

Opinnäytetyöni sisältöön kuului paineastianpäätyjen valmistukseen käytettävän rulamuovausmenetelmällä toimivan koneen suunnittelu. Suunnitteluun kuului osittainen suunnittelu mekaniikan, sekä muotoilun osalta, 3D-mallintaminen ja suunnittelujen osien puhtaaksi piirtäminen. Opinnäytetyöstäni rajattiin heti sähkösuunnittelu ja CNC-ohjaus pois, joista ei minulla koulutuksen puolesta ole käytännössä minkäänlaista tietoa. Tavoitteenani oli saada suoritettua sovitut asiat, sekä saada laadittua raportti valmiiksi ennen viimeistä opinnäytetyön arviointipäivää keväällä 2013.



## 7.2 Työn toteutus

Yhtiön perustaja, Pertti Hänninen, ja hänen poikansa, Olli Hänninen, alkoivat ideoida rullamuovauskonetta noin kaksi vuotta sitten. Opinnäytetyötä aloittaessa minun täytyi ensin perehtyä rullamuovauksen teoriaan, josta minulla ei entuudestaan ollut kovinkaan suurta tietoa. Palavereita pidimme viikoittain Hännisten kanssa, jotta ymmärtäisin minkälaisen koneen he haluavat suunnitella. Pienellä yrityksellä ei ollut ohjelmistoja, joilla olisin 3D-mallintamisen pystynyt tekemään. Sovimme että mallintamisen suoritan koulun koneilla, joissa 3D-mallinnusohjelma CatiaV15 oli käytettävissä.

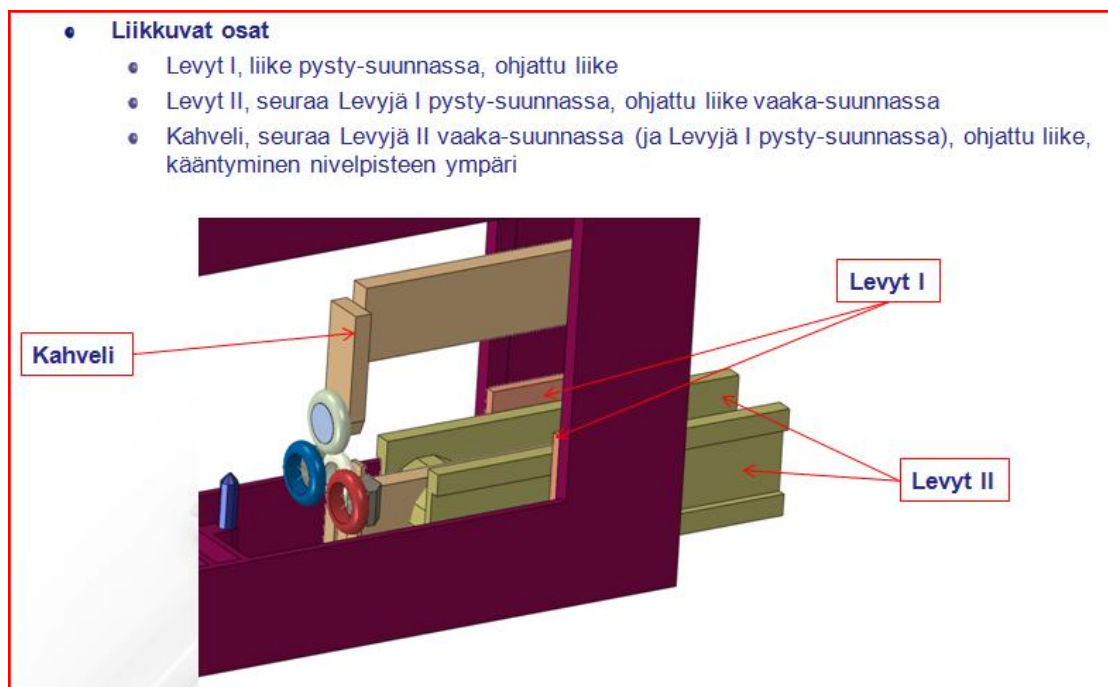
Opinnäytetyötä aloittaessani siirryin suoraan tuotekehityksen toiseen, eli luonnostelu työvaiheeseen, koska päätös tuotekehityksestä oli jo tehty. Myös paineastioiden päätyjen valmistukseen oli jo menetelmä valittu, jolla päädyt haluttiin valmistaa. Tämä menetelmä oli siis rullamuovaus. Menetelmän valinnassa oli testattu pienoismallilla, että rullamuovauksella saavutetaan levyn halutunlainen taivutus. Hänniset olivat luonnostelleet jo karkean version, mistä lähdettäisiin työstämään lopullista rullamuovauskonetta. Rullamuovauskoneen karkea versio on esitetty kuviossa 20.

Päästyäni hieman sisälle siitä, minkälaista konetta Hänniset olivat ajatelleet, aloitin vaatimuslistan tekemisen. Rullamuovauskoneen vaatimuslista muuttui hieman opinnäytetyön aikana, tämä johtuu siitä että toimintaperiaate muuttui karkeasta luonnostelumallista. Vaatimuslista on esitetty liitteessä 3. Alusta asti tuotteelle oli asetettu kolme päätavoitetta:

- Koneella tuli pystyä valmistamaan erimuotoisia paineastioiden päätyjä alusta loppuun, ilman levyn irrottamista tai liikuttelua kesken työstön.
- Maksimihalkaisija valmistettavalle paineastian päädylle oli 3000 mm.
- Paineastianpäädyn paksuus on normaalisti 6 mm, mutta myös eri paksuisia päätyjä tulisi pystyä koneella valmistamaan.

Kuviossa 20 on esitetty rullamuovaustekniikalla toimiva paineastioiden päädyn muovauskone. Kuviossa esitetään toimintaperiaate, jolla päätyjä tulitaisiin valmistamaan.

Tämä kuvio 20 on kuvankaappaus PowerPoint esitelmästä, joka on kokonaisuudessaan esitetty liitteessä 2. Liitteessä 2 on Hännisten lähettämä PowerPoint esitelmä, jonka avulla he selvensivät minulle, minkälaista konetta he ovat ajatelleet.



**KUVIO 20. Rullamuovauskoneen karkea luonnostelu** (Hänninen O. 2013. Sähköpostiviesti.)

Seuraavaksi aloitin koneen luonnostelun. Pidimme yrityksen edustajien kanssa viikoittain palavereja, joissa keskustelimme työn etenemisestä. Palavereissa Pertti Hänninen luonnosteli kynällä ruutupaperille karkeita kuvia koneen eri osista. Keskustelimme ja mietimme Pertti Hännisen ja Olli Hännisen kanssa karkeiden kuvioden toimivuuden. Minä mallinsin karkeat luonnokset ruutupaperilta Catialla tietokoneelle. Kuvat muunsin stp-tiedostoiksi, jotka sähköpostitse lähetin Olli Hänniselle. Stp-tiedostot saimme avattua Hännisten koneelta MasterCam ohjelmalla. Näin pystyimme seuraavassa palaverissa katsomaan mallinnetut kuvat läpi ja tekemään seuraavaksi kerraksi mahdolliset korjaukset mikäli jokin mallinnettu osa ei toiminut, tai haluttiin tehdä muutoksia.

Kokoonpanokuvien tekemisen aloitin, kun olin saanut tarvittavan määrän osia mallinnettua. Kokoonpanokuvista katsoimme osan lopullista muotoa ja kokoa, joiden

perusteella haluttuja muutoksia oli helpompi tehdä. Esimerkiksi, jos muutit koneen runko - osaa 200 mm pienemmäksi, se päivittyi samassa suhteessa kokoonpanokuviiin. Kun lopulliset kokoonpanokuvat saatiin tehtyä, tein työpiirustukset mallinnetuista osista.

Yritin tehdä liikeratojen tarkastukset, eli simulaatiot Catialla, jotta nähtäisiin, kuinka kone toimii ja mitkä osat liikkuvat. Simulointi oli kuitenkin haastavaa. Simuloinnin avulla en pystynyt tarkastamaan kuin pelkästään hammaspyörien toimivuudet. Muiden liikkuvien osien liikeradat pystyin tarkistamaan ainoastaan käsin, liikuttelemalla eri koneenosia.

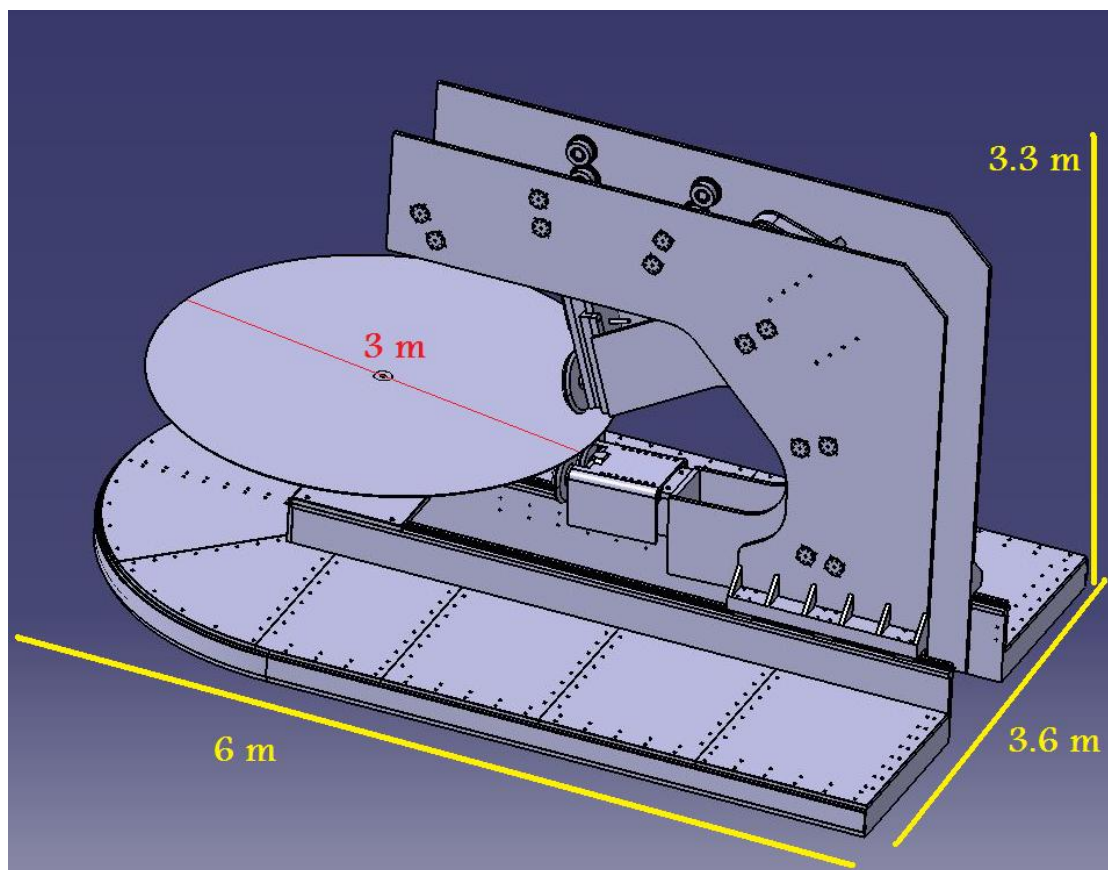
## 7.3 Tulokset

### 7.3.1 Koneen toimintaperiaate

Sivut on poistettu liian yksityiskohtaisten tietojen takia.

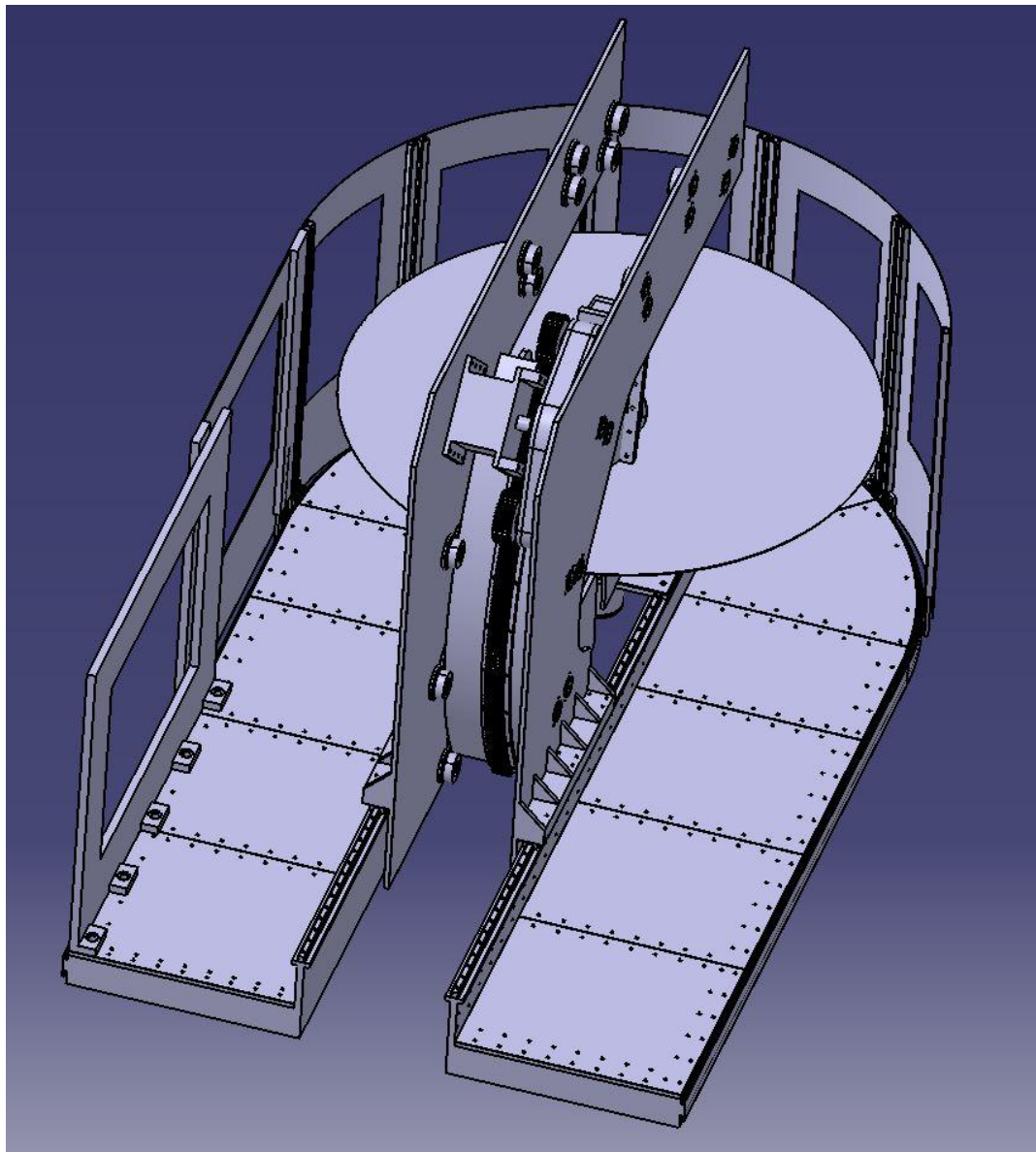
### 7.3.2 Rullamuovauskoneen lopullinen versio

Kuviossa 24 on esitetty rullamuovauskoneen lopullinen versio ilman suojaseiniä. Kuvioon on myös piirretty mitat, jotka kuvaavat koneen kokoa. Koneen korkeus on noin 3,3 metriä, leveys on noin 3,6 metriä ja koneen pituus on noin 6 metriä. Kuviossa 24 on myös 3 metriä halkaisijaltaan oleva aihio, josta muovataan lopputuote.



KUVIO 21. Rullamuovauskone päämittojen kanssa ilman suojaseiniä

Kuviossa 25 rullamuovauskone on kuvattuna takaviistosta. Kuviossa 25 on näkyvissä myös suojaseinät. Kaarevan muotoiset seinämät ovat avautuvia seiniä, joita liikutellaan kiinnitettäessä tai irrotettaessa työnettävää levyä.



KUVIO 22. Rullamuovauskone kuvattuna takaviistosta suojaseinien kanssa

## 8 JATKOTOIMENPITEET

Ennen tuotteen valmistusta tulisi tehdä täydelliset lujuuslaskennat, sekä liikeratojen tarkastukset. Kappaleen mallintamisessa käytetyt mitat ovat yhtiön perustajan ja hänen poikansa kanssa yhdessä katsottu ja niiden pohjalta työ on mallinnettu. Kone on todella massiivisen kokoinen, joten prototyyppiäkään ei ole järkevää valmistaa. Mikäli täydellisiä lujuus- ja liike tarkastuksia ei tehdä, emme voi sataprosenttisella varmuudella todeta toimiiko kone juuri niin kuin on ajateltu.

Myös mahdolliset värähtelyt, äänieristykset sekä erilaiset moottoreiden ja liikkuvien osien voitelut tulee suunnitella myöhemmin. Hammaspyöristä lähtee todennäköisesti koviakin ääniä, joten joitakin äänieristyksiä voidaan joutua tekemään. Sähkötyöt, sekä CNC – ohjattavuus tulee myös suunnitella.

Myös simulointi joudutaan ulkoistamaan jollekin yritykselle tai yksityiselle henkilölle, joka osaa ja on ennenkin tehnyt simulointeja. Tällaisella simulointivideolla pystytään havainnollistamaan todella hyvin millä lailla kone toimii, ja mitkä osat liikkuvat koneessa. Omat simulointitaitoni ovat hyvin rajalliset, sain simuloinnilla ainoastaan testattua hammaspyörien toimivuudet. Näiden simulointivideoiden perusteella voin todeta, että hammaspyörät toimivat tämänhetkisillä mitoilla.

## 9 POHDINTA

Työn tehtävänä oli CNC-ohjattavan rullamuovauskoneen osittainen mekaniikan suunnittelu. Tähän kuului 3D-mallintaminen, koneen muotoilu sekä mallinnettujen osien puhtaaksi piirtäminen. Nämä tehtävät saatiin suoritettua, joten voidaan katsoa, että halutut tulokset saavutettiin.

Tuloksissa päästiin tavoiteltuun lopputulokseen, lukuun ottamatta täydellisen simulointivideon tekemistä. Kone saatiin mallinnettua valmiiksi ja koneen eri osien työpiirustukset saatiin tehtyä. Koneesta puuttuvat sähkötyöt sekä CNC-ohjaus kokonaan. Kun näitä puuttuvia toimenpiteitä suunnitellaan tulevaisuudessa, voidaan joutua muuttamaan nyt mallinnettuja kappaleita, jonka johdosta koko koneen ulkomuoto saattaa muuttua jonkin verran.

Työn toteutus lähti liikkeelle kuviosta 20. Kun vertaa tätä kuviota kuvioon 24, jossa lopullinen versio on esitetty, huomataan että tuotekehitystä on tapahtunut paljon. Konetta mallintaessa niin sanottuja välituloksia en ole tähän opinnäytetyöhön liittänyt ollenkaan. Opinnäytetyössä on siis kuvattu vain lähtöversio ja lopullinen versio. Vaihtoehtoisia ratkaisuja ei ole esitetty tässä työssä.

Heti alusta asti oli tiedossa, että opinnäytetyön aihe on laaja, vaikka aiheesta rajattiinkin sähkötyöt sekä CNC-ohjaukset pois. Alustavaksi aikatauluksi arvioimme, että opinnäytetyön suorittamiseen kuluisi noin kuusi kuukautta. Aikaa tulisi siis kulumaan paljon enemmän, kuin mikä on ammattikorkeakoulun suositus opinnäytetyöhön käytettävän ajan suhteen. Halusin kuitenkin tehdä tämän opinnäytetyön, koska erikois-  
tuin opinnoissani koneiden suunnitteluun. Opinnäytetyön kautta saisin myös tärkeää työkokemusta suunnittelun ja 3D-mallintamisen osalta.

Opinnäytetyön suorittaminen oli suhteellisen haastavaa. Rullamuovaus ei ollut minulle entuudestaan tuttu aihepiiri, joten perehtymiseen kului oma aikansa. 3D-mallintaminen oli minulle entuudestaan tuttua Catialla, joten sen kanssa ongelmia ei koitunut kovinkaan paljoa. Ainoastaan täydellinen simulointi ei onnistunut, vaikka yritinkin saada apua. Simulointi Catialla olisi ollut hyödyllistä oppia, mutta kun opetusta eikä tietoa oikein mistään ollut saatavilla, oli se liian hankalaa opiskella itse.



Onnistuin kuitenkin simuloimaan hammaspyörien liikeradat, joiden toimivuus pystyttiin näin toteamaan.

Työn suorittaminen oli käytännössä Hännisten idean puhtaaksi piirtämistä. Oma suunnittelutyö ei ollut kovinkaan perusteellista, johtuen siitä, että CNC - ohjattava rullamuovauskone oli heidän ideansa. He tiesivät alusta alkaen minkälaisen koneen he haluavat ja mitä osia yms. komponentteja koneeseen tulee. Minun työni oli koneen 3D-mallintaminen, koneen muotoilu sekä osien puhtaaksi piirtäminen.

Oman lisähaasteen työntoteuttamiseen on myös tuonut uudenlaisen koneen suunnittelu. Esimerkiksi vallitsevia voimia ei voida tietää täydellisen tarkasti. Emme voi olla siis sataprosenttisen varmoja kestääkö laitteessa olevat osat. Pertti Hännisellä on kuitenkin pitkä ja kokonaisvaltainen työkokemus konepajateollisuudesta. Hänen tietaitonsa ja näkemyksensä perusteella uskon, että koneessa olevat osat tulevat kestämään.

Lopuksi tarkastin Catialla muutamien kriittisten osien kestävyyydet. Omat lujuuslaskentataitoni ovat rajalliset, jonka takia kaikkia lujuuslaskentoja en pystynyt suorittamaan. Myöskään työnlaajuuden johdosta kaikkia lujuuslaskuja en nähnyt tarpeelliseksi enää suorittaa. Mikäli täydelliset lujuuslaskennat suoritettaisiin, tästä saataisiin varmasti jollekin toiselle opinnäytetyöntekijälle opinnäytetyönaihe kasaan.

## LÄHTEET

Different types of corrosion. N.d. Artikkel WebCorr corrosion consulting services sivustolla. Viitattu 7.4.2013.

[http://www.corrosionclinic.com/types\\_of\\_corrosion/pitting\\_corrosion.htm](http://www.corrosionclinic.com/types_of_corrosion/pitting_corrosion.htm)

Dislokaatio. 2001. Artikkel Material science of art & archaeological objects sivustolla. Viitattu 2.4.2013.

[http://www.ic.arizona.edu/ic/mse257/class\\_notes/disclocation.html](http://www.ic.arizona.edu/ic/mse257/class_notes/disclocation.html)

Huhtala, V., Makkonen, T., Ojanen, T. & Rusanen, A. 1987. Konstruktitekniikka. Valtion painatuskeskus.

Hänninen O. 2013. Rullamuovauskoneen karkea luonnostelumalli. Sähköpostiviesti 14.1.2013. Vastaanottaja Tomi Martikainen. Karkean luonnostelumallin havainnollistava esitys koneen toiminnasta.

Jokinen, T. 2001. Tuotekehitys. Kuudes korjattu painos. Helsinki: Otatieto.

Koivisto K., Laitinen E., Niinimäki M., Tiainen T., Tiilikainen P., Tuomiokoski J. 2008. Konetekniikan materiaalioppi. Helsinki: Edita Oy

Korroosiokäsikirja. 1988. Suomen korroosioyhdistys.

Kruger J. 2001. Electrochemistry of corrosion. Electrochemistry encyclopedia. Viitattu 4.4.2013. <http://electrochem.cwru.edu/encycl/art-c02-corrosion.htm>

Kylmämuovaus. N.d. Artikkel yrityksen Halikkogroup sivustolta. Viitattu 11.4.2013 <http://www.halikkogroup.fi/fin/yritys/halikko-works/palvelut/kylmaemuovaus>

Mallioikeudet. 2011. Artikkel patentti- ja rekisterihallitus sivustolla. Viitattu 8.3.2013. <http://www.prh.fi/fi/mallioikeudet/mallinrekisteroiminen/yleista.html>

Matilainen, J., Parviainen M., Havas T., Hiitelmä E., & Hultin S. 2011. Ohutlevytuotteiden suunnittelijan käsikirja. Teknologiateollisuus ry.

Oesch, R. & Pihlajamaa, H. 2008. Patenttioikeus. Talentum.

Ongelin, P. 1986. Rullamuovaus. Metalliteollisuuden keskusliiton tekninen tiedotus.

Painelaitedirektiivi 97/23/EY. 1997. Euroopan parlamentti. Viitattu 28.1.2013,  
<http://www.tukes.fi/Tiedostot/painelaitteet/direktiivit/painelaitedirekti.pdf>

Pinnoitteet ja korroosionesto. N.d. SFSedu. Viitattu 5.2.2013.  
[http://www.sfsedu.fi/www/fi/kone-tuotanto-ja\\_materiaalitekniikka/valmistusmenetelmat/pinnoitteet\\_ja\\_korroosionesto.php](http://www.sfsedu.fi/www/fi/kone-tuotanto-ja_materiaalitekniikka/valmistusmenetelmat/pinnoitteet_ja_korroosionesto.php).

Proctor, T. 2010. Creative problem solving for managers. Routledge.

Rautaruukin paineastiakäsikirja. 1999. Rautaruukki.

SFS-EN 10028-1. 2009. Painelaiteteräkset levytuotteet osa 1: Yleiset vaatimukset. Suomen standarditoimistoliitto SFS.

SFS-EN 10204. 2004. Metallituotteiden aineodistukset. Suomen Standarditoimistoliitto SFS.

SFS-EN 13445-2. 2012. Lämmittämättömät painesäiliöt osa 2: Materiaalit. Suomen Standarditoimistoliitto SFS.

SFS-EN 13445-3. 2009. Lämmittämättömät painesäiliöt osa 3: Suunnittelu. Suomen Standarditoimistoliitto SFS.

SFS-EN 13445-4. 2012. Lämmittämättömät painesäiliöt osa 4: Valmistus. Suomen Standarditoimistoliitto SFS.

Stainless steel. 2011. Artikkelin yrityksen Amtec Consultants sivustolta. Viitattu 7.4.2013. <http://www.amteccorrosion.co.uk/stainlesssteel.html>

Standardimuodot. 2013. Saarijärven päätytuote. Viitattu 11.2.2013,  
<http://www.paatytuote.com/?cat=21>

Taulavuori, T., Kyröläinen, A. & Manninen, T. 2012. Ruostumattomat teräkset. Teknolohiateollisuus ry.

Turvallinen kone työpaikalla. 2009. Työturvallisuuskeskus TTK.

30.6.2000/650. Valtioneuvoston asetus patenttilakiin. Viitattu 8.3.2013. Patentti- ja rekisterihallitus. <http://www.prh.fi/fi/patentit/lainsaadantoa/patenttilaki.html#3p>

# LIITTEET

## Liite 1. Painelaiteterästen luokittelujärjestelmä

### Painelaiteterästen luokittelujärjestelmä

Teräksset on ryhmiteltävä taulukon A.1 mukaisesti. Ryhmässä 1 esitetyt pitoisuudet koskevat materiaalien sulatusanalyysijä. Ryhmissä 4...10 esitetyt pitoisuudet perustuvat nimikkeen mukaiseen pitoisuuteen.

**Taulukko A.1 Terästen luokittelujärjestelmä (raportin CR ISO 15608:2000 mukaisesti)**

Ryhmä	Alaryhmä	Teräslaji
1		Teräksset, joiden myötörajan vähimmäisarvo $R_{eH} \leq 460 \text{ MPa}^a$ ja analyysipitoisuudet ovat %: $C \leq 0,25$ $Si \leq 0,60$ $Mn \leq 1,70$ $Mo \leq 0,70^b$ $S \leq 0,045$ $P \leq 0,045$ $Cu \leq 0,40^b$ $Ni \leq 0,5^b$ $Cr \leq 0,3$ (0,4 valuille) <sup>b</sup> $Nb \leq 0,05$ $V \leq 0,12^b$ $Ti \leq 0,05$
	1.1	Teräksset, joiden myötörajan vähimmäisarvo $R_{eH} \leq 275 \text{ MPa}$
	1.2	Teräksset, joiden myötörajan vähimmäisarvo $275 \text{ MPa} < R_{eH} \leq 360 \text{ MPa}$
	1.3	Normalisoidut hienoraeteräksset, joiden myötörajan vähimmäisarvo $R_{eH} > 360 \text{ MPa}$
	1.4	Säänkestävät teräksset, joiden analyysipitoisuudet saattavat ylittää annetut pitoisuudet ryhmän 1 seosaineille
2		Termomekaanisesti valssatut hienoraeteräksset ja valuteräksset, joiden myötörajan vähimmäisarvo $R_{eH} > 360 \text{ MPa}$
	2.1	Termomekaanisesti valssatut hienoraeteräksset ja valuteräksset, joiden myötörajan vähimmäisarvo $360 \text{ MPa} < R_{eH} \leq 460 \text{ MPa}$
	2.2	Termomekaanisesti valssatut hienoraeteräksset ja valuteräksset, joiden myötörajan vähimmäisarvo $R_{eH} > 460 \text{ MPa}$
3		Nuorutusteräksset ja erkautuskarkenevat teräksset, paitsi ruostumattomat teräksset, joiden myötörajan vähimmäisarvo $R_{eH} > 360 \text{ MPa}$
	3.1	Nuorutusteräksset, joiden myötörajan vähimmäisarvo $360 \text{ MPa} < R_{eH} \leq 690 \text{ MPa}$
	3.2	Nuorutusteräksset, joiden myötörajan vähimmäisarvo $R_{eH} > 690 \text{ MPa}$
	3.3	Erkautuskarkenevat teräksset, paitsi ruostumattomat teräksset
4		Niukasti vanadiiniseostetut CrMo(Ni)-teräksset, joissa $Mo \leq 0,7 \%$ ja $V \leq 0,1 \%$
	4.1	Teräksset, joissa $Cr \leq 0,3 \%$ ja $Ni \leq 0,7 \%$
	4.2	Teräksset, joissa $Cr \leq 0,7 \%$ ja $Ni \leq 1,5 \%$
5		Vanadiinia sisältämättömät CrMo-teräksset, joissa $C \leq 0,35 \%^c$
	5.1	Teräksset, joissa $0,75 \% \leq Cr \leq 1,5 \%$ ja $Mo \leq 0,7 \%$
	5.2	Teräksset, joissa $1,5 \% < Cr \leq 3,5 \%$ ja $0,7 < Mo \leq 1,2 \%$
	5.3	Teräksset, joissa $3,5 \% < Cr \leq 7,0 \%$ ja $0,4 < Mo \leq 0,7 \%$
	5.4	Teräksset, joissa $7,0 \% < Cr \leq 10 \%$ ja $0,7 < Mo \leq 1,2 \%$

Taulukko A.1 (jatkuu)

Ryhmä	Alaryhmä	Teräslaji
6		Runsaaasti vanadiinilla seostetut Cr-Mo-(Ni)-teräkset
	6.1	Teräkset, joissa $0,3 \% \leq \text{Cr} \leq 0,75 \%$ , $\text{Mo} \leq 0,7 \%$ ja $\text{V} \leq 0,35 \%$
	6.2	Teräkset, joissa $0,75 \% < \text{Cr} \leq 3,5 \%$ , $0,7 \% < \text{Mo} \leq 1,2 \%$ ja $\text{V} \leq 0,35 \%$
	6.3	Teräkset, joissa $3,5 \% < \text{Cr} \leq 7,0 \%$ , $\text{Mo} \leq 0,7 \%$ ja $0,45 \% \leq \text{V} \leq 0,55 \%$
	6.4	Teräkset, joissa $7,0 \% < \text{Cr} \leq 12,5 \%$ , $0,7 \% < \text{Mo} \leq 1,2 \%$ ja $\text{V} \leq 0,35 \%$
7		Ferriittiset, martensiittiset tai erkautuskarkenevat ruostumattomat teräkset, joissa $\text{C} \leq 0,35 \%$ ja $10,5 \% \leq \text{Cr} \leq 30 \%$
	7.1	Ferriittiset ruostumattomat teräkset
	7.2	Martensiittiset ruostumattomat teräkset
	7.3	Erkautuskarkenevat ruostumattomat teräkset
8		Austeniittiset teräkset
	8.1	Austeniittiset ruostumattomat teräkset, joissa $\text{Cr} \leq 19 \%$
	8.2	Austeniittiset ruostumattomat teräkset, joissa $\text{Cr} > 19 \%$
	8.3	Mangaaniseostetut austeniittiset ruostumattomat teräkset, joissa $4 \% < \text{Mn} \leq 12 \%$
9		Nikkeliseostetut teräkset, joissa $\text{Ni} \leq 10 \%$
	9.1	Nikkeliseostetut teräkset, joissa $\text{Ni} \leq 3 \%$
	9.2	Nikkeliseostetut teräkset, joissa $3 \% < \text{Ni} \leq 8 \%$
	9.3	Nikkeliseostetut teräkset, joissa $8 \% < \text{Ni} \leq 10 \%$
10		Austeniittis-ferriittiset ruostumattomat teräkset (duplex-teräkset)
	10.1	Austeniittis-ferriittiset ruostumattomat teräkset, joissa $\text{Cr} \leq 24 \%$
	10.2	Austeniittis-ferriittiset ruostumattomat teräkset, joissa $\text{Cr} > 24 \%$
<sup>a</sup> Materiaalistandardien mukaan ylempi myötöraja $R_{eH}$ voidaan korvata venymisrajalla $R_{p0,2}$ tai $R_{10,5}$ . <sup>b</sup> Suurempi pitoisuus voidaan hyväksyä edellyttäen, että $\text{Cr} + \text{Mo} + \text{Ni} + \text{Cu} + \text{V} \leq 0,75 \%$ . <sup>c</sup> "Vanadiinia sisältämättömät" tarkoittaa, ettei materiaaliin ole tarkoituksella lisätty vanadiinia.		

## **Liite 2. Hännisten PowerPoint esitys**

Sivut on poistettu liian yksityiskohtaisten tietojen takia.

## **Liite 3. Vaatimuslista koneelle**

Sivut on poistettu liian yksityiskohtaisten tietojen takia.



## Liite 4. Kuvia koneesta

